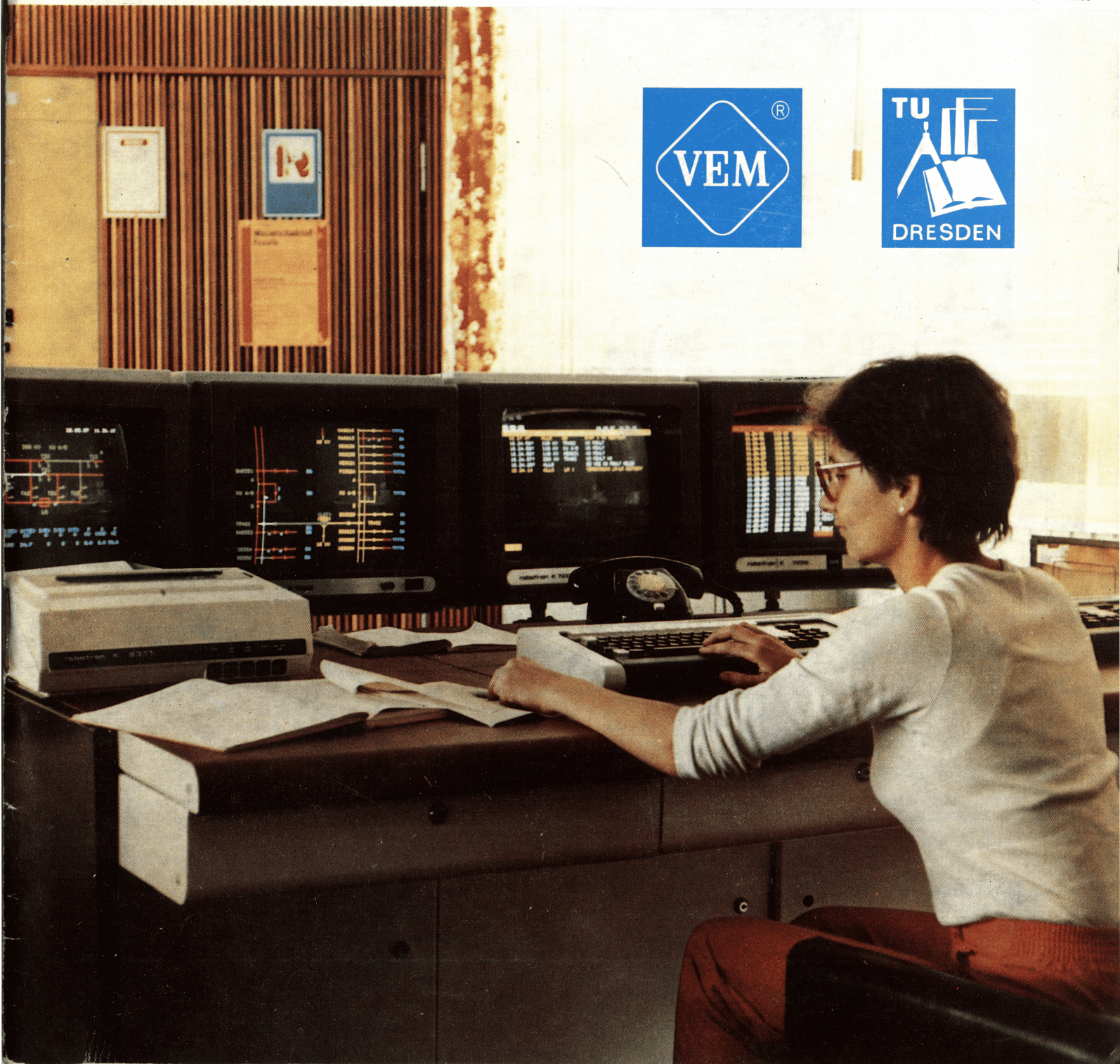
ELEKTRIE 11|88

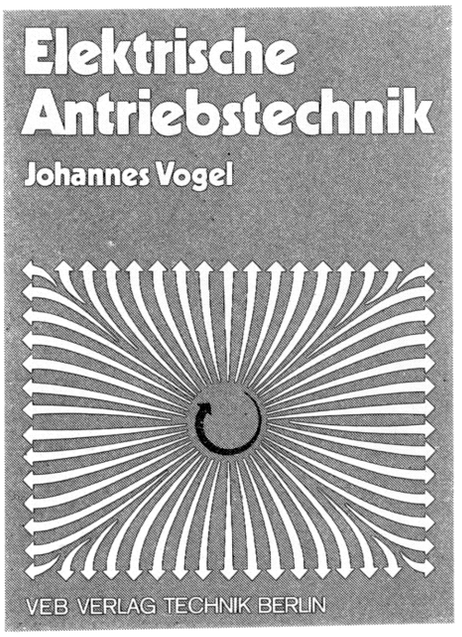
VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399

Leittechnik für Hochspannungs-Schaltanlagen

0120253



Auslieferung in diesen Tagen in vierter, stark bearbeiteter Auflage!



Elektrische Antriebstechnik

Von Prof. Dr. sc. techn. Johannes Vogel u. a.
416 Seiten, 303 Bilder, 28 Tafeln, Kunstleder, DDR 25,50 M, Ausland 40,— DM.
Bestellangaben: 553 890 4/Vogel, El. Antriebstechnik

Das Lehrbuch vermittelt Kenntnisse über die Wirkungsweise und das Verhalten elektrischer Antriebe für eine technisch-ökonomisch begründete Auswahl und Dimensionierung. Die einzelnen Abschnitte sind gegliedert in der Reihenfolge Anforderungen aus dem technologischen Prozeß — Bestimmung der Schaltungsstruktur — Auswahl und Dimensionierung der Bauglieder des Leistungs- und Informationsteils. In allen Abschnitten wurden Aktualisierungen entsprechend dem neuesten Stand der Technik vorgenommen, z. B. die leistungselektronischen Stellglieder und die digitale Antriebsregelung betreffend.

AUS DEM INHALT:

Analyse der Stell- und Bewegungsvorgänge Größen des Bewegungsablaufs · Kräfte und Drehmomente · Mechanische Antriebsleistung · Leistungsbedarf ausgewählter Arbeitsmaschinen · Im Antriebssystem gespeicherte kinetische Energie · Elastizitäten und Getriebespiele im Zweimassensystem · Prozeßanalytische Aufbereitung der Antriebsvorgänge

Kennlinienfelder und Stellmöglichkeiten elektrischer Antriebsmaschinen Energiebilanz im Antriebssystem · Gleichstrom-Nebenschlußmaschine (GNM) · Gleichstrom-Reihenschlußmaschine (GRM) · Asynchronmaschine mit Schleifringläufer (AMSL) · Asynchronmaschine mit Kurzschlußläufer (AMKL) · Synchronmaschine mit Schenkelpolläufer (SM) · Einphasen- und Drehstrom-Kommutatormaschinen · Elektromagnetische Kupplungen · Bemerkungen zur Auswahl elektrischer Antriebsmaschinen

Typenleistung und Schutzeinrichtungen elektrischer Maschinen Allgemeine Konstruktionsmerkmale und Maschinendaten · Einflußfaktoren auf die Lebensdauer und Umwelt · Verlustleistungen · Thermische Vorgänge und Betriebsarten · Typenleistungsbestimmung nach dem Einkörpermodell und nach dem Zweikomponentenmodell · Anlasser und Steller · Motorschalter und Motorschutz

Leistungselektronische Stellglieder für elektrische Antriebe Übersicht und Einteilung der Stellglieder · Leistungselektronische Stellglieder für Gleichstromantriebe und für Drehstromantriebe · Netzrückwirkungen von Stromrichtern

Stromrichtergespeiste Gleich- und Drehstromantriebe Stationäres und dynamisches Verhalten stromrichtergespeister Gleichstrom- und Drehstromantriebe · Regelung spezieller Größen des Bewegungsablaufes · Bauglieder zur Informationserfassung und -verarbeitung

Elektrische Kleinantriebe Gleichstrom-Kleinantriebe · Wechselstrom-Reihenschlußantriebe (Universalmotoren) · Asynchrone und synchrone Wechselstrom-Kleinantriebe · Elektronikmotoren · Schrittantriebe

Anhang SI-Einheiten und Umrechnungsbeziehungen · Bestimmung der Anlaufkennlinie und der Anlaufzeit · Bestimmung und Auswertung der Stromortskurve für AMSL · Drehmomentenbeziehungen von Drehstrommaschinen in Raumzeigerdarstellung · Bestimmung von Erwärmungsgrößen elektrischer Maschinen · Kennwerte von Halbleiterbauelementen für Stromrichterstellglieder · Eigenschaften und Kenndaten netzgeführter Stromrichterschaltungen · Laplace-Transformationen · Frequenzgänge zur Beurteilung des Regelkreisverhaltens · Lineare Reglerschaltungen · Nichtlineare Reglerschaltungen und Funktionsgeber · Standards.

Im Fachbuchhandel erhältlich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

11|88 ELEKTRIE

42. Jahrgang | Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik | ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Inhalt

Seite

Aktuelle Informationen 402

Ambrosch, H.
Mikroelektronik und Lichtwellenleitertechnik zur Prozeßautomatisierung in Hochspannungsschaltanlagen — Schaltanlagen-Leittechnik 403

Schulze, D.; Conrad, H.
Nachruf für Professor em. Dr.-Ing. Erich Kolbe 404

Reball, S.
Ernst-Haeckel-Medaille an Herrn Professor Manfred von Ardenne verliehen 404

Fachaufsätze

Bauer, H.
Entscheidungskriterien für die Entwicklung und für den Einsatz von mikrorechnergestützter Prozeßleittechnik für Umspannwerke 405

Bauer, H.; Langer, G.
Modelle und Strategien für Prüfungen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) 409

Ambrosch, H.
Anforderungen an moderne Hochspannungsschaltgeräte — Internationaler Stand und Entwicklungstendenzen 415

Bochanky, L.
Belastungsmodelle für öffentliche Verteilungsnetze 419

Budig, P.-K.; Timmel, H.; Schubert, Th.; Jugel, U.; Seyfarth, K.
Aktive magnetische Lager — eine Übersicht über theoretische Grundlagen, Aufbau, Wirkungsweise, Entwurf und spezielle Probleme. Teil 2 424

Umschau

Fachtagungen 429

Kurzberichte 432

Patente 434

Bücher 434

Titelbild

Unser Bild zeigt den Arbeitsplatz zur Prozeßführung in einem 380/110-kV-Umspannwerk der DDR mit der Leittechnik SIS/HS des VEB „Otto Buchwitz" Starkstrom-Anlagenbau Dresden während des Probebetriebes

Foto: C. Bauer

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

AKTUELLE INFORMATION

XI. Verbundnetz-Kolloquium

Zeit: 6. und 7. Dezember 1988
Ort: Berlin, 1080,
Unter den Linden 2
Museum für Deutsche Geschichte

Veranstalter: Betriebssektion der Kammer der Technik im VE Kombinat Verbundnetze Energie

Inhaltliche Schwerpunkte

— Entwicklung und Beiträge der Grundlagenforschung zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Elektroenergieübertragung
— Entwicklung und Errichtung von Anlagen der Elektroenergieübertragung
— Spitzentechnologien und Betriebsführung der Elektroenergieübertragung
— Modernisierung, Auslastbarkeit von Anlagen und Elementen
— Einsatz von Bürocomputer und Leittechnik für Umspannwerke

Anfragen

KDT-Betriebssektion im VE Kombinat Verbundnetze Energie
Stammbetrieb, Tel. 5472284, 5472283
Allee der Kosmonauten 29, Berlin, 1140
G. Stegemann, Berlin EA 2925

Wissenschaftliche Veranstaltungen im Jahre 1989 an der Technischen Universität „Otto von Guericke" Magdeburg

Zuverlässigkeit — ein Weg zur Erhöhung der Effektivität unserer Volkswirtschaft

II. Zentrale interdisziplinäre Wissenschaftliche Konferenz der Studenten und jungen Wissenschaftler

Zeit: 16. und 17. März 1989

Discretization Methode in Singular Pertubations and Flow Problems

Zeit: 3. bis 7. April 1989

Pumpen und Verdichter

6. Symposium

Zeit: 11. und 12. April 1989

Automatisierung von Baumaschinen und Bauprozessen

Internationale Fachtagung des International Council for Building, Research Studies and Documentation (CIB)

Zeit: 22. bis 25. Mai 1989

Neue Werkstoffe — ein Beitrag zur Materialökonomie

Zentrale Interdisziplinäre Wissenschaftliche Konferenz der Studenten und jungen Wissenschaftler

Zeit: 30. und 31. Mai 1989

Anforderungen an die Grundmittelreproduktion für die schrittweise Gestaltung von CIM-Lösungen

6. Fachtagung Anlageninvestitionen

Zeit: 21. und 22. Juni 1989

Thermische Stofftrennung

VII. Internationales Symposium

Zeit: 28. und 29. Juni 1989

2. COSAR-Konferenz

Zeit: 20. und 21. September 1989

Anfragen

Technische Universität
„Otto von Guericke" Magdeburg
Tagungsbüro
Postschließfach 124
Magdeburg, 3010
Die Redaktion EA 2884

34. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

Zeit: 23. bis 27. Oktober 1989
Ort: Ilmenau
Veranstalter: Technische Hochschule Ilmenau

Das Kolloquium ist den Problemkreisen Elektrotechnik, Gerätetechnik und Marxismus-Leninismus gewidmet.

Anfragen

Technische Hochschule Ilmenau
Direktorat für Internationale Beziehungen
Vorbereitungskomitee des 34. IWK
PSF 327, Ilmenau, 6300
Die Redaktion EA 2841

Qualität und Zuverlässigkeit von Systemen, Programmen und Geräten der Informationstechnik

Fachtagung im Rahmen der Tage der Wissenschaft und Technik 1989

Zeit: 4. bis 8. September 1989
Ort: Technische Hochschule Wismar

Veranstalter: Sektion Technologie der Elektrotechnik/Elektronik

Inhaltliche Schwerpunkte

— Systeme und Baugruppen der Nachrichtentechnik
— Optische Nachrichtenübertragung
— Optoelektronische Sende- und Empfangsbauelemente
— Probleme bei Lichtwellenleiterverbindungsstellen
— Einfluß der Mikroelektronik auf Qualität und Zuverlässigkeit
— Qualitätssicherungsstrategien und -systeme
— Zuverlässigkeit unter Umgebungseinflüssen
— Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit von Mehrrechnersystemen
— Mikrorechner in lokalen Informationssystemen
— Einfluß von Konstruktion und Technologie auf Qualität und Zuverlässigkeit elektronischer Erzeugnisse
— Rechnergestützte Produktionsvorbereitung
— Aufsetztechnik: Bauelemente, Bauelementeträger, Verbindungstechnik, Prüftechnik
— Schichttechnik, Schichteigenschaften

Anfragen

Technische Hochschule Wismar
Tagungsbüro
Philipp-Müller-Straße
Wismar
2400
D. Schmidt, Wismar EA 2905

Anwendung von Mikrorechnern in der Meß- und Automatisierungstechnik

5. Fachtagung im Rahmen der Wissenschaftlichen Tage 1989 der Technischen Universität „Otto von Guericke" Magdeburg

Zeit: 5. und 6. September 1989
Ort: TU „Otto von Guericke"
Magdeburg

Veranstalter: Sektion Automatisierungstechnik und Elektrotechnik, Wissenschaftsbereiche Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen sowie Prozeßmeßtechnik

Inhaltliche Schwerpunkte

— Meßwerterfassungsstrukturen für die Prozeßmeßtechnik
— intelligente Funktionseinheiten zur Aggregat-Automatisierung
— ASICs für die Automatisierungstechnik
— prozeßnahe Interfaceelektronik
— Mikrorechnergerätetechnik zur Meßwerterfassung, -übertragung und -vorverarbeitung einschließlich schaltungstechnischer Probleme
— Fragen der Analogwerteingabe und Meßwertvorverarbeitung
— Sensor-Anwendungen und Sensoreingangsschaltungen; Bildverarbeitung in der Meßtechnik
— Entwicklung und Anwendung moderner Algorithmen der automatischen Steuerung und ihre Umsetzung in Automatisierungslösungen mit Mikrorechnern in Echtzeitverarbeitung
— Probleme der Geräte- und Anlagentechnik, ihre Dimensionierung und Projektierung
— Kommunikationssysteme in der Automatisierungstechnik
— Darstellung ausgewählter Anwendungsfälle der Regelungstechnik und Prozeßsteuerung vornehmlich aus dem Bereich des Maschinen- und Anlagenbaues sowie der Verfahrenstechnik
— Automatisierung von diskreten Prozessen im Maschinenbau.

Anfragen

sind zu richten an:
Technische Universität
„Otto von Guericke" Magdeburg
Tagungsbüro
Postschließfach 124
Magdeburg
3010
Die Redaktion EA 2883

Mikroelektronik und Lichtwellenleitertechnik zur Prozeßautomatisierung in Hochspannungsschaltanlagen — Schaltanlagen-Leittechnik

Von

Prof. Dr. sc. techn.
Helmut Ambrosch

Technische Universität Dresden
Sektion Elektrotechnik

Vorstandsmitglied der WS-EE
im Fachverband Elektrotechnik
der Kammer der Technik

Der Einsatz von Schlüsseltechnologien, wie die Erzeugung von Elektroenergie aus Kernenergie und der Einsatz der Leistungs- und Mikroelektronik zur Steuerung, Automatisierung und Optimierung der Erzeugung, Übertragung und Verteilung sowie der rationellen Anwendung von Elektroenergie ermöglichen die Erfüllung der qualitativ und quantitativ wachsenden Anforderungen der Wirtschaft und der Bevölkerung an die Elektroenergieversorgung.

Auf dem Gebiet der Elektroenergieübertragung und -verteilung sind dabei theoretische und technische Grundlagen für folgende Entwicklungen zu erarbeiten:

— Sicherstellung eines stabilen Betriebes großer Verbundsysteme unter allen Lagebedingungen, d.h. bei unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen, bei Ausfall großer Kraftwerksblöcke, bei Ausfall von Stromwegen, von Netzknotenpunkten oder internationaler, systembildender Verbindungen
— Entwicklung von Geräten und Anlagen, die für einen vollautomatischen Betrieb geeignet sind, gekennzeichnet durch höhere Zuverlässigkeit, Wartungsarmut bzw. -freiheit, Konstanz der Parameter (z.B. der Schaltzeiten) bei allen klimatischen Bedingungen und durch Ausstattung mit Sensoren für die Betriebsüberwachung
— Entwicklung einer systemgerechten Prozeßleittechnik (Netz- und Schaltanlagenleittechnik) unter Einschluß der Aufgaben für den Geräte-, Anlagen- und Netzschutz sowie für die Diagnose auf der Basis des Einsatzes von Mikrorechnersystemen und schneller Informationsübertragungskanäle
— Erhöhung der Handlungssicherheit für die Steuerung von Elektroenergieanlagen einschließlich der Eigenbedarfsanlagen in Kraftwerken (insbesondere in Kernkraftwerken), Umspannwerken und Lastverteilungen durch die Entwicklung geeigneter Trainingsanlagen mit Simulation des Systemverhaltens durch Mikrorechner.

Der Anschluß von großen Kraftwerksblöcken an das Elektroenergiesystem, der Einsatz von Netztransformatoren mit höherer Nennleistung und das damit verbundene Ansteigen der Betriebs- und Kurzschlußströme, die höhere Materialbeanspruchung bei Betriebsmitteln, insbesondere solcher im Grenzleistungsbereich, und die höhere Auslastung vorhandener Betriebsmittel sind verbunden mit qualitativ neuen Aufgabenstellungen für den Betrieb des Elektroenergiesystems sowie für die Hersteller der dazu erforderlichen Ausrüstungen.

Die Integration mikroelektronischer Baugruppen in die elektrotechnischen Geräte und Anlagen setzt die Beherrschung der Beeinflussung von mikroelektronischen Baugruppen (EMC) und die Beherrschung von Netzrückwirkungen durch Oberschwingungen voraus.

Umfangreiche Forschungsprogramme, spezielle wissenschaftliche Konferenzen sowie zahlreiche Veröffentlichungen beschäftigen sich national und international mit der elektromagnetischen Verträglichkeit. Dabei werden vorbeugende Maßnahmen bei den Störquellen, die Koppelmechanismen, Beschaltungsmaßnahmen und Konstruktionsprinzipien zur Störgrößenreduzierung bei den mikroelektronischen bis hin zu Maßnahmen im logischen Bereich der Schaltungen zwecks Fehlertoleranzen, einschließlich der dafür erforderlichen Prüfverfahren und Prüftechnik, untersucht.

Die Entwicklung der Mikroelektronik hat über die Entwicklung einer hochauflösenden Meßtechnik dabei gleichzeitig Voraussetzungen geschaffen, tiefer in die Physik dieser Prozesse einzudringen.

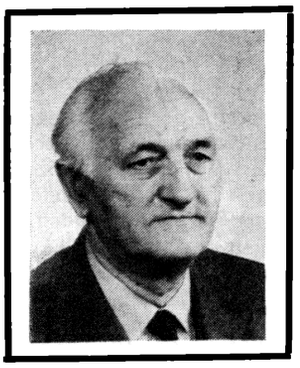
Schaltanlagen sind Knotenpunkte in Elektroenergiesystemen. Daraus abgeleitete extrem hohe Forderungen in Bezug auf Zuverlässigkeit an die Schaltanlagenleittechnik sind verbunden mit extremen Belastungen in Bezug auf die elektromagnetische Verträglichkeit. Störquellen sind insbesondere gegeben durch alle Schaltvorgänge mit Leistungs-, Trenn- und Erdungsschaltern bei Betriebsspannungen bis zu 420 kV und durch Blitzentladungen, aber auch durch das Schalten von Induktivitäten in den Gleichstrom-Steuerkreisen.

Die Anforderungen an eine neue Generation mikroelektronischer Steuer-, Schutz- und Automatisierungstechnik in Umspannwerken sind formuliert. Im Ergebnis einer engen Zusammenarbeit zwischen wissenschaftlichen Einrichtungen, Herstellern und Betreibern von Hochspannungsschaltanlagen sind mit Hilfe der Mikroelektronik in den letzten Jahren mehrere Rationalisierungslösungen für Einzelaufgaben und auch erste Systemlösungen für die Netz- und für die Schaltanlagenleitertechnik entstanden. Seit Anfang 1987 wird in der DDR ein 110-kV-VUW mit der vom Institut für Energieversorgung Dresden entwickelten mikroelektronischen Leittechnik 110-kV-VUW erfolgreich betrieben. Dieses System basiert auf dem industriell gefertigten System ursadat 5000, das mit Anpassungsbausteinen ergänzt und mit entsprechender Software ausgestattet wurde. Seit Oktober 1987 befindet sich in einem 380/110-kV-UW das Schaltanlageninformationssystem Hochspannung (SIS-HS) des VEB Otto Buchwitz Starkstrom-Anlagenbau, Dresden, im Probebetrieb.

An der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik, wurden Einrichtungen für die Prüfung mikroelektronischer Anlagen und Geräte auf elektromagnetische Verträglichkeit nach IEC sowie eine Trainings- und Experimentieranlage mit mikroelektronischer Schaltanlagenleittechnik, System SIS-HS, am Dynamischen Netzmodell aufgebaut. Erste Lehrgänge zur Weiterbildung von Ingenieuren des Herstellerbetriebes, der Schaltanlagenbetreiber sowie staatlicher Einrichtungen wurden 1987 und 1988 durchgeführt.

In diesem Heft der Fachzeitschrift ELEKTRIE wird über Entscheidungskriterien für die Entwicklung und den Einsatz einer mikrorechnergestützten Schaltanlagenleittechnik sowie über Gesichtspunkte und Arbeitsergebnisse auf dem Gebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit am Beispiel der Schaltanlagenleittechnik berichtet. EA 2908

Nachruf für Prof. em. Dr.-Ing. Erich Kolbe



Am 16. August 1988 verstarb Prof. em. Dr.-Ing. *Erich Kolbe* im Alter von 69 Jahren

Prof. *Kolbe* begann seine wissenschaftliche Tätigkeit nach dem Studium der Starkstromtechnik an der TH Dresden zunächst als wissenschaftlicher Assistent und später als Oberassistent mit einem Lehrauftrag für das Fachgebiet Elektrowärme.

1958 wurde er von der damaligen Hochschule für Elektrotechnik in Ilmenau mit der Wahrnehmung einer Professur und dem Aufbau des Instituts für Elektrowärme beauftragt. Seiner Tatkraft war es zu verdanken, daß in kurzer Zeit eine arbeitsfähige Einrichtung entstand, an der eine auf die Bedürfnisse der Volkswirtschaft ausgerichtete Lehre und Forschung durchgeführt werden konnte. 1964 promovierte *Erich Kolbe* an der Fakultät für Starkstromtechnik der Technischen Hochschule Ilmenau auf dem Gebiet der Infrarotstrahlungstechnik. Auf Grund seiner hohen Leistungen in Ausbildung und Forschung wurde er 1965 zum Professor mit Lehrauftrag berufen. Von 1969 bis zu seiner Emeritierung 1984 leitete er als ordentlicher Professor den Wissenschaftsbereich Elektrowärme der Sektion Elektrotechnik der Technischen Hochschule Ilmenau.

Prof. *Kolbe* hat als Leiter, Forscher und Hochschullehrer entscheidenden Anteil, daß ein breites Lehrprogramm zu den Grundlagen der Elektrowärmetechnik und der Wärmeübertragung aber auch zu Spezialgebieten, wie der elektrischen Schweiß- und Trocknungstechnik, erarbeitet wurde und mehr als 200 Studenten der Elektrotechnik eine Ausbildung im Fachgebiet Elektrowärme erhielten bzw. auf diesem Gebiet diplomierten. Mit großer Sorgfalt betreute er 19 Doktoranden bis zur erfolgreichen Verteidigung ihrer Dissertation. Drei Wissenschaftler konnten unter seiner Leitung eine Promotion zum Doktor der technischen Wissenschaften erfolgreich abschließen. In den vielen von Prof. *Kolbe* geleiteten Weiterbildungsveranstaltungen für Praxiskader zur rationellen Elektroenergieanwendung wurden wertvolle Beiträge zur Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in die industrielle Praxis geleistet.

Am Institut und späteren Wissenschaftsbereich für Elektrowärme der TH Ilmenau wurde von Prof. *Kolbe* sehr bald eine zielgerichtete und anwendungsorientierte Grundlagenforschung, insbesondere für die Betriebe des Kombinates VEB Lokomotivbau — Elektrotechnische Werke „Hans Beimler" Hennigsdorf (LEW) organisiert. Schwerpunkte der Forschung waren Aufgaben zur Infrarot-Strahlungs-Heizung, für das induktive Erwärmen und Schmelzen, das Plasmaprimärschmelzen und andere elektrothermische Verfahren, deren Teillösungen und deren ingenieurtechnische Lösungsmethoden, wie die physikalische und analoge Modellierung sowie die numerische Feldberechnung, internationale Anerkennung fanden. Zahlreiche Patente und Veröffentlichungen in international bekannten Zeitschriften sind ebenso Zeugen seiner Schöpferkraft wie die von ihm verfaßten Kapitel im Taschenbuch Elektrotechnik und im UIE-Handbuch Elektrowärme.

Die Verbindung mit Institutionen und Fachkollegen des Auslandes war für Prof. *Kolbe* ein wichtiges Mittel, um die eigene wissenschaftliche Arbeit bewerten und effektiver gestalten zu können. Sowohl als DDR-Beauftragter im IC 27 der IEC als auch als Gastprofessor, Vortragender und Diskussionsleiter zu Tagungen wurde er als Fachmann von internationalem Rang anerkannt. Dem beharrlichen Wirken von Prof. *Kolbe* ist es zu verdanken, daß die freundschaftliche Zusammenarbeit des ehemaligen Instituts und heutigen Wissenschaftsbereiches Elektrowärme der TH Ilmenau mit dem Institut für Elektrotechnik Warschau und mit Lehrstühlen des Moskauer Energetischen Instituts, der Polytechnika in Warschau und Łods sowie der Hochschule für Elektrotechnik und Maschinenbau Plzeň erfolgreich war. Aus dieser internationalen Zusammenarbeit entwickelten sich Freundschaften zu Fachkollegen, die für ihn persönlich wertvoll waren und deren Atmosphäre sich auch auf seine Mitarbeiter übertrug.

Mitarbeiter und Fachkollegen schätzten den korrekten Leitungsstil von Prof. *Kolbe* als Prodekan der Fakultät für Starkstromtechnik und als Stellvertreter des Sektionsdirektors für Forschung der Sektion Elektrotechnik der TH Ilmenau.

Besonders hervorzuheben ist seine langjährige aktive Arbeit in der KDT als Vorsitzender des Fachausschusses 7 „Industrielle Elektrowärme" und als Vorstandsmitglied der wissenschaftlichen Sektion Elektrotechnologie. Sein engagiertes Mitwirken in Arbeitsgruppen des Forschungsrates und anderer zentraler Gremien war stets gefragt.

Für seine Verdienste erhielt Prof. *Kolbe* vielfältige staatliche und gesellschaftliche Auszeichnungen im In- und Ausland. Er wurde als „Verdienter Techniker des Volkes" und „Verdienter Aktivist der sozialistischen Arbeit" geehrt; er erhielt die vom ZK der KPdSU gestiftete „Medaille für Sieger im Wettbewerb 1977", die „Goldmedaille des Polnischen Vereins der Elektrotechniker (SEP)" sowie die „Goldene Ehrennadel der KDT".

Fachkollegen des In- und Auslandes, Mitarbeiter und Schüler werden Professor em. Dr.-Ing. *Erich Kolbe* stets ein ehrendes Andenken bewahren.

D. Schulze, Ilmenau
H. Conrad, Dresden EA 2910

Zum Andenken an Prof. *Kolbe* werden in der Fachzeitschrift ELEKTRIE im Jahre 1989 folgende Aufsätze veröffentlicht:

Ose, L.; Schilling, W.; Schulze, D.
Adaptive Steuerung induktiver Erwärmungs- und Schmelzprozesse

Andree, W.; Lüdtke, U.
Dreidimensionale Berechnung einer induktiven Erwärmungseinrichtung

Fleischer, H.
Praktische Methoden der Messung elektrischer Wechselgrößen an Elektrowärmeanlagen hoher Leistung

Die Redaktion

Ernst-Haeckel-Medaille an Herrn Professor Manfred von Ardenne verliehen

Die Gesellschaft zur Verbreitung wissenschaftlicher Kenntnisse URANIA hat Herrn Professor Dr. h. c. mult. Manfred von Ardenne für außerordentliche Verdienste bei der Verbreitung wissenschaftlicher Kenntnisse am 3. März 1988 mit der Ernst-Haeckel-Medaille ausgezeichnet.

Dr.-Ing. S. Reball, Dresden EA 2807

Entscheidungskriterien für die Entwicklung und für den Einsatz von mikrorechnergestützter Prozeßleittechnik für Umspannwerke

H. Bauer, KDT; Dresden

Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen

A	Aktor (Betätigungsspule eines Schaltgerätes)
ADU	Analog-Digital-Umsetzer
BDR	Bediendrucker (Seriendrucker)
BR	Bedienrechner
BSE	Bildschirmeinheit (Farbdisplay)
BTA	Bedientastatur
DFÜ	Datenfernübertragung
GE	Grundeinheit (von ursadat 5000)
GS	Gleichspannung
H	High-Pegel
KBG	Kassettenbandgerät (Diskettenlaufwerk)
L	Low-Pegel
LR	Leitrechner
Ml	Meldung
Ms	Messung
NBS	Netzbefehlsstelle
PA	Pegelanpassung
St	Steuerung
Sc	Schutz
UW	Umspannwerk
VE	Vor-Ort-Elektronik
VR	Verarbeitungsrechner
a	Auflösung des ADU (Bit-Anzahl)
g	Anzahl der Meßgrößen
i	Strom
m	Anzahl der Abtastwerte
n	Anzahl der Schaltfelder einer Schaltanlage
s	Anzahl der zu realisierenden Funktionen
Δt	Zeitdifferenz zwischen den Abtastzeitpunkten zweier Meßgrößen
t	Zeit
t_c	Zyklusdauer
$t_\triangle$	Abtastintervall
t_r	Reaktionsdauer
t_s	Streuzeit bei der Kommandoausführung
t_t	Totzeit zwischen softwaremäßigem Reaktionskommando und Aktorreaktion
t_u	Umsetzdauer eines ADU
t_v	Verarbeitungsdauer
t_w	Fensterdauer
u	Spannung

Das Elektroenergiesystem hat die Aufgabe, die zuverlässige Versorgung der Abnehmer mit Elektroenergie unter allen Lagebedingungen zu gewährleisten [1]. Durch den Einsatz der Mikroelektronik und Mikrorechentechnik für elektrotechnische Anlagen kann dieser Prozeß unterstützt werden. Darüber hinaus sind für elektrotechnische Betriebsmittel und Anlagen die Zielfunktionen Exportfähigkeit, Betriebs- und Erzeugnisprofilierung unter Berücksichtigung des internationalen Trends zu verfolgen.

Unter diesen Bedingungen sind die Strategien zur funktionellen Realisierung abzuleiten [2]. Entscheidungskriterien für die Realisierung jeder Funktion (Hard- und Softwarekomponenten) sind die Zuverlässigkeit, die Genauigkeit und die Zeitbilanz (Bild 1). Daneben können auch örtliche Bedingungen, beispielsweise die Notwendigkeit von Fern-, Nah- und/oder Vor-Ort-Steuerung Einfluß auf die Struktur der Leittechnik haben.

Unter Beachtung dieser Kriterien entstehen Konzeptionen für die Leittechnik nach sorgfältiger Funktionsanalyse in einem iterativen Prozeß bei Abwägung von Anforderungen [3] [4] und Realisierungsaufwand. Dabei ist eine modulare, erweiterbare und transparente Struktur der Leittechnik anzustreben.

1. Zuverlässigkeit

Die Einflußnahme der Mikrorechentechnik auf die Versorgungszuverlässigkeit des Elektroenergiesystems reicht von der Produktionsvorbereitung über die Herstellung bis zur Betriebsführung von Schaltanlagen (Bild 2). Der Einsatz von Mikrorechnern beim Entwurf, bei der Fertigung und Inbetriebnahme von Schaltanlagen (CAD/CAM) ist zwar kein Bestandteil der mikrorechnergestützten Prozeßleittechnik, setzt sie jedoch oftmals voraus. Beispielsweise wären die rechnergestützte Projektierung und Fertigung des auf einem konventionellen Schalterabbild (Relaistafeln mit einem Gesamtvolumen von etwa 10 m³) beruhenden Schaltfehlerschutzes für ein 380-kV-Umspannwerk unbillige Zielstellungen. Sie würden unter anderem unvertretbar hohe Aufwendungen für einen speziellen Verdrahtungsroboter erfordern. Demgegenüber kann für eine moderne Prozeßleittechnik die Softwareherstellung für den Schaltfehlerschutz, ausgehend von den entsprechenden Boolschen Gleichungen und unter Verwendung des im Prozeßrechner gespeicherten aktuellen Zustandsabbildes des gesamten Umspannwerks (etwa 10 cm³), an einem Rechnerarbeitsplatz erfolgen. Bei Ergänzung mit einem weiteren Softwarepaket für die Simulation der Schaltgeräte des betreffenden Umspannwerks kann mit dem Test der logischen Richtigkeit des Schaltfehlerschutzes durch den Betreiber beachtliche Zeit vor der Inbetriebnahme, eventuell sogar vor der Errichtung der Schaltanlagen begonnen werden.

Die Instandhaltungsstrategie für die Primäranlage und für die Sekundärtechnik eines Umspannwerkes kann unterschiedlich auf planmäßige Wartung oder auf den Betrieb bis zum Ausfall orientieren. Davon und vom zu erwartenden Schädigungsprozeß der elektrischen Ausrüstungen abhängig werden die mit Hilfe der Leittechnik zu realisierenden Diagnosemittel bestimmt. Beispiele sind eine Ausschaltstromzählung der Leistungsschalter oder eine Dämpfungsüberwachung der Lichtwellenleiter mit Auswertung der Bitfehlerrate. Die Anlagenverfügbarkeit kann damit sowohl durch Fehlervorwarnung als auch durch Verkürzung der Fehlersuchdauer erhöht werden.

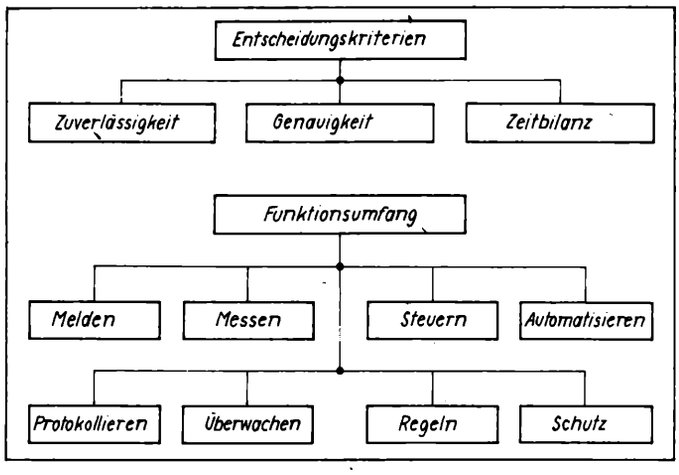
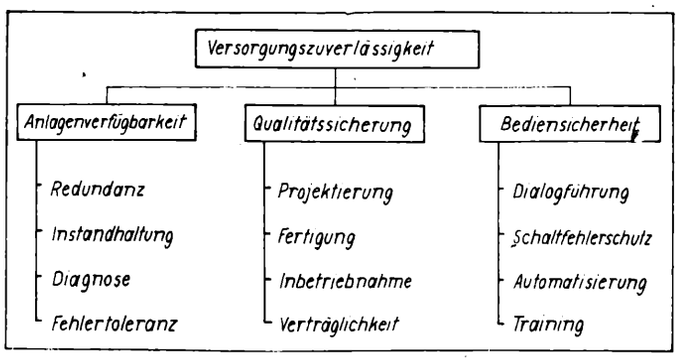


Bild 1. Entscheidungskriterien für die Wahl der Hard- und Softwarestruktur für die funktionellen Komponenten

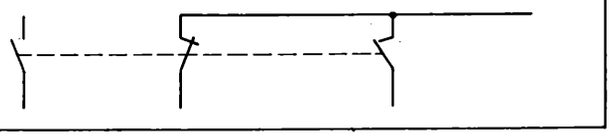
Bild 2. Wirkung des Einsatzes der Mikrorechentechnik in der Leittechnik auf die Erhöhung der Versorgungszuverlässigkeit



Dr.-Ing. *Hartmut Bauer* ist Dozent an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, Wissenschaftsbereich Elektroenergietechnik.

Tafel 1. Zur Erfassung einer Schalterstellung

Haupt-kontakt	Hilfskontakte (Meldekontakte) Kontakt 1		Kontakt 2		Melde-spannung
	Logik	Pegel	Logik	Pegel	
Aus	0	H	1	L	kein Ausfall
Ein	1	L	0	H	
Zwischen-stellung	0	H	0	H	
beliebig	1	L	1	L	Ausfall



Eine Verkürzung der Fehlersuchdauer im Elektroenergiesystem wird durch die Bestimmung der Fehlerart und die Berechnung des Fehlerortes im Rechner möglich. Diese Fehlerdiagnose ist unabhängig davon realisierbar, ob die Schutztechnik als Automatisierungsfunktion in die Leittechnik integriert ist.

Auch die Automatisierung des Ablaufs von Schaltfolgen und die Plausibilitätskontrollen bei der dialoggeführten Bedienung sichern eine hohe Bediensicherheit. Eine wesentliche Erhöhung der Bediensicherheit wird durch einen umfassenden Schaltfehlerschutz und durch das Training der Bedienhandlungen bei seltenen, zufälligen Fehlerereignissen mit simulierten Fehlerabläufen an Trainingsanlagen ermöglicht, die softwaremäßig an die Originalanlage anpaßbar sind.

Grundlage für die hohe Zuverlässigkeit der Leittechnik selbst ist ihre dezentrale Struktur. Die autark arbeitenden Rechnereinheiten gewährleisten auch bei Ansprechen der Watch-dog-Funktion einen zuverlässigen Wiederanlauf.

Die elektronischen Baugruppen haben eine im Vergleich zu konventioneller Technik um den Faktor 10^3 bis 10^5 höhere Empfindlichkeit gegenüber Störbeeinflussungen, was aus der niedrigen Stör- und Zerstörschwelle und aus der geringeren Reaktionszeit resultiert. Von der Konzeption über die Entwicklung, Inbetriebnahme bis zur Betriebsführung mit dieser Technik gebührt deshalb der Beherrschung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMC) größte Aufmerksamkeit [5] [6].

Funktionen mit den höchsten Zuverlässigkeitsanforderungen, wie die Steuerung und der Schutz, haben wesentlichen Einfluß auf die Struktur von Hard- und Software. Sie erfordern zuverlässigkeitserhöhende Maßnahmen, wie Redundanz, Diversität, Barrierenbildung, Vororientierung auf Blockierung bzw. Auslösung sowie Anlauf-, Wiederanlauf- und zyklische Prüfungen. Transiente Störungen bei der Informationsübertragung und -speicherung sowie Zerstörungen von Bauelementen sind bei der Funktion Steuerung so zu beherrschen, daß hemmende Zustände entstehen dürfen, gefährdende Zustände jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen sind. Mehrere unabhängige Barrieren und die Redundanz sichern die Toleranz eines Elementeausfalls bezüglich Überfunktion bzw. Unterfunktion. Bei transienten Störungen kann die beabsichtigte höhere Hemmungswahrscheinlichkeit durch Mehrfachwiederholungen heruntergepegelt werden.

Bei den Entscheidungen zur Struktur der Leittechnik sind auch neue Überlegungen zur Gestaltung der unterbrechungsfreien Hilfsenergieversorgung einzubeziehen. Insbesondere hat der redundante Aufbau der Gleichstromversorgung wesentlichen Einfluß auf die Funktionszuverlässigkeit der Rechnersysteme [7].

2. Genauigkeit

Die Auswahl der Meßgrößen und Meßorte sowie der Meldungsumfang werden vom erforderlichen Zustandsabbild und damit vom Funktionsumfang der Leittechnik für das Umspannwerk bestimmt. Eine Meßgrößen- oder Meldungserfassung über das unbedingt notwendige Maß hinaus ermöglicht Plausibilitätsvergleiche, die Ersatzdatenbeschaffung und spätere softwaremäßige Erweiterungen.

Beispielsweise können Genauigkeitsforderungen zur Erkennung einer Trennerzwischenstellung oder aber allein Zuverlässigkeitsüberlegungen (diversitäre Redundanz) dazu führen, eine Schalterstellung durch mehr als 1 bit abzubilden (Tafel 1).

Ist desweiteren diese Zwischenstellung vom Ausfall der Meldespannung zu unterscheiden, erhält man zu den naheliegenden, im Rechner verwendeten Logikpegeln eindeutig zugeordnete High- und Low-Pegel und demzufolge eine zweckmäßige Ausführung der Hilfskontakte des Schaltgerätes mit verlängerten Öffner- bzw. verlängerten Schließerkontakten.

Aus der Prozeßanalyse sind Schlußfolgerungen zur Stationarität, zur Symmetrie des Dreiphasensystems, zum Oberschwingungsgehalt von Strom und Spannung und zum Dynamikbereich der Meßgrößen abzuleiten. So ist beispielsweise zu entscheiden, ob nur Effektivwerte für die Meßwertverarbeitung ausreichen, oder ob eine Momentanwerterfassung erforderlich ist. Dabei kann durch theoretische Überlegungen und durch Simulationsrechnungen nachgewiesen werden, wie groß die Abtastrate und die Fensterdauer in Abhängigkeit vom zu erwartenden Oberschwingungseinfluß, der Unsymmetrie und der zulässigen Meßungenauigkeit zu wählen sind und ob die Vorschaltung von Filtern erforderlich ist.

Die Auflösung a der ADU ist zu optimieren. Einerseits erfordern die hohe Genauigkeit der Verrechnungsenergiemessung {[(0,7 bis 1,2 (2,0)] U_n; [0,05 ··· 1,5 (2,0)] I_n} und der große Dynamikbereich beim Schutz bzw. bei der Fehlerentfernungsbestimmung [(0,25 bis 50) I_n] eine sehr hohe Auflösung. Andererseits erfordert bereits ein 12-Bit-ADU mit $\hat{u}_{AD} = 10$ V Spannungsbereich die wirksame Begrenzung der dauernd eingekoppelten Störspannungen zwischen Zwischenwandler und ADU auf Werte

$$\hat{u}_{st\,zul} < \frac{\hat{u}_{AD}}{2^{a-\nu}}; \tag{1}$$

$\nu = 1$ für Wechselspannungsmessung bis zum doppelten Nennwert, demzufolge

$$\hat{u}_{st\,zul} < 5\ \text{mV},$$

um die Genauigkeit des niedrigwertigsten Bits zu sichern. Gegebenenfalls ist die getrennte Meßwerterfassung für die Funktionen Messung und Fehlerentfernungsberechnung/Schutz mit Hilfe unterschiedlicher Zwischenwandler zu realisieren. Prinzipiell kann durch den Mikrorechnereinsatz der systematische Fehleranteil der gesamten Fehlerquellenkette, bestehend aus Strom- oder Spannungswandler, Bürde der Leitungen, Zwischenwandler, Diskretisierung und Algorithmus, softwaremäßig kompensiert werden.

3. Zeitbilanz

Bei der Zeitbilanz sind einerseits die Zeitauflösung als zeitliche Zuordnung von zwei Ereignissen bzw. als Abtastintervall und die Taktgleichheit für alle ADU mit den Genauigkeitsforderungen zu koordinieren. Andererseits wird die Reaktionsdauer des Systems von der Verarbeitungsdauer und dem Gesamtfunktionsumfang einschließlich deren Prioritätsfestlegungen bestimmt. Dabei ist zwischen periodischer oder ereignisorientierter Funktionsabarbeitung zu unterscheiden. Beispielsweise muß bei periodischer Abarbeitung die Zyklusdauer t_z für eine Funktion die Bedingung

$$t_z \geqslant t_w + t_v \tag{2}$$

erfüllen (Bild 3a), damit summiert über alle Funktionen s, einschließlich der Eigenüberwachung

$$t_z > \sum_{\nu=1}^{s} (t_{w\nu} + t_{v\nu}) \tag{3}$$

gilt. Die zulässige Reaktionsdauer muß in diesem Fall größer als t_z sein. Bei ereignisorientierter Abarbeitung ergibt sich für die höchstpriorisierte Funktion bei einem Betriebssystem ohne Taskunterbrechung als maximale Reaktionsdauer

$$t_{r\,max} = t_{v\,max} + t_v + t_w + t_t + t_s \tag{4}$$

mit

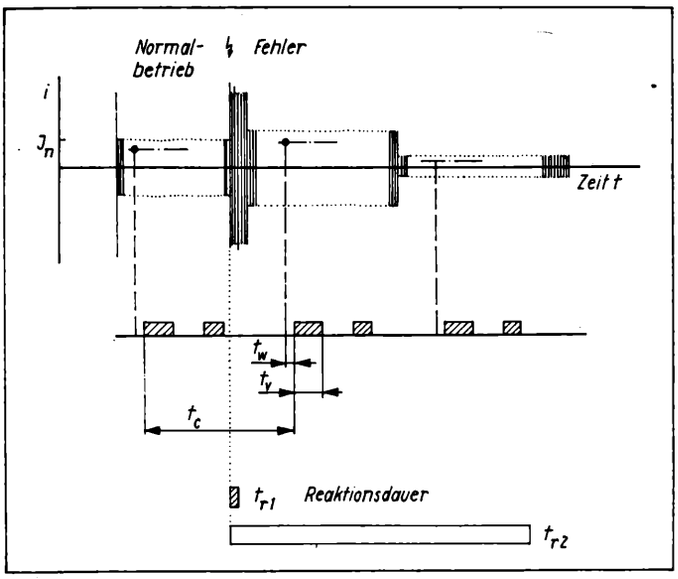
$$t_{v\,max} = \max_{s} \{t_{vs}\}.$$

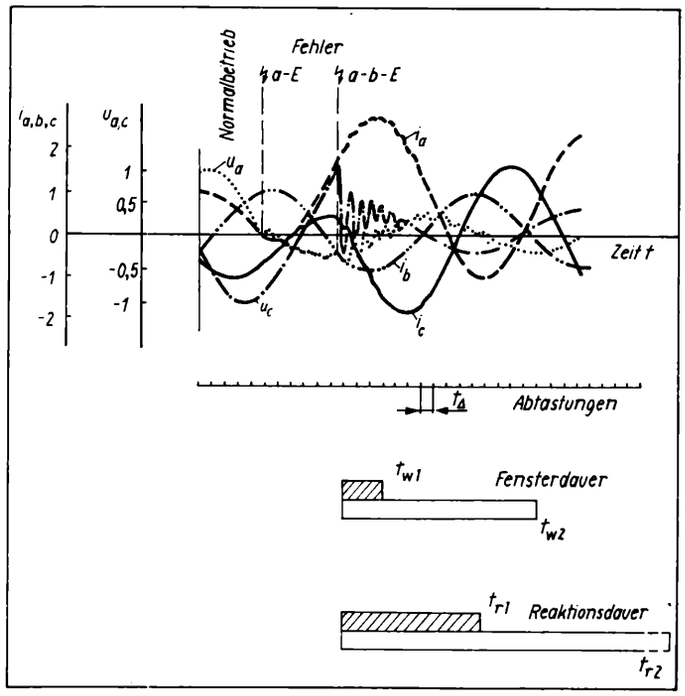
Die Genauigkeitsforderungen bestimmen nach Auswahl des Algorithmus sowohl das Abtastintervall t_Δ als auch die Anzahl der Abtastwerte m. Damit kann die Fensterdauer (Bild 3b) mit

$$t_w = (m-1)\, t_\Delta \tag{5}$$

zum Beispiel für den Schutz [8] [9] bestimmt werden.

Die Verarbeitungsdauer kann über die Befehlsstruktur des Algorithmus abgeschätzt und beim Softwaretest experimentell einschließlich des Streubereichs, abhängig von den Eingabewerten, gemessen werden. Eine untere Grenze für das Abtastintervall kann





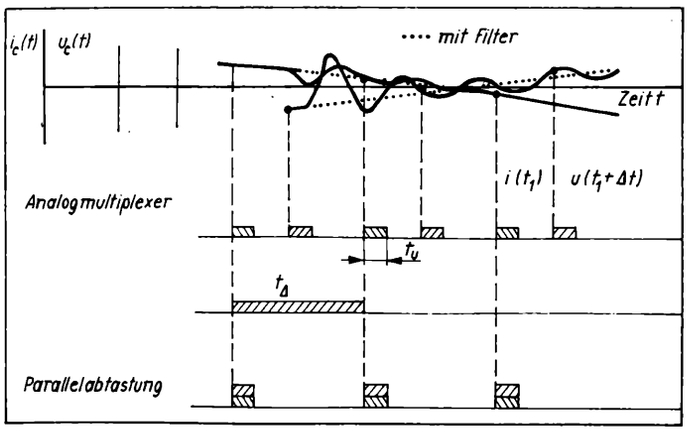


Bild 3. Zur Abhängigkeit der Reaktionsdauer von der zu realisierenden Funktion
a) Stromverlauf bei Fehlereintritt und Lastschaltung mit Reaktionsdauer für Schutz und Messung
b) Detail von a) bei Fehlereintritt mit Abtastintervall und Reaktionsdauer
c) Detail von b) bei Fehlereintritt mit Abtastintervall und Umsetzzeit

Schutz Messung

aus der Anzahl der Meßgrößen g und der Umsetzdauer t_u des ADU abgeschätzt werden (Bild 3c)

$$t_\Delta > g\, t_u . \qquad (6)$$

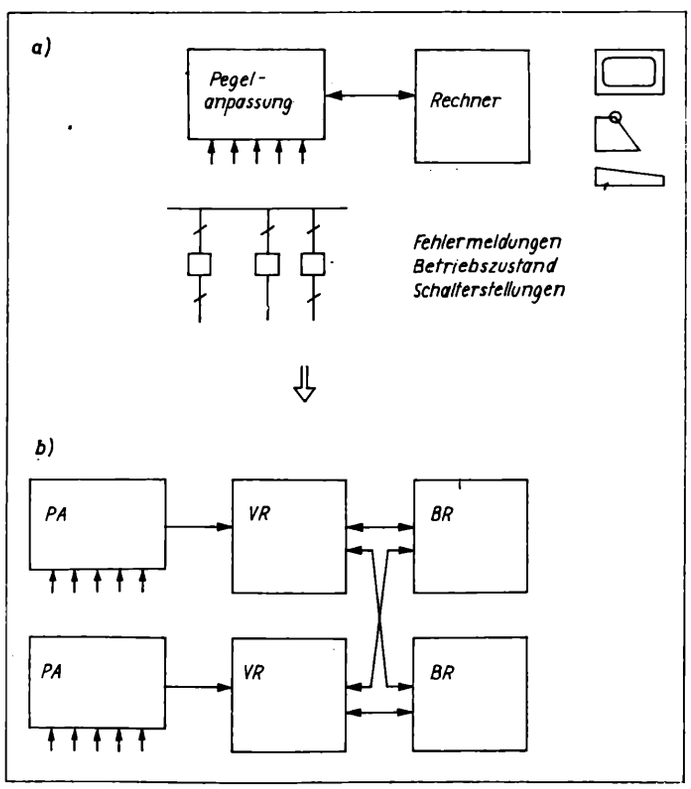
Dabei ist abhängig von den Genauigkeitsforderungen der Funktionen zu entscheiden, ob die Taktgleichzeitigkeit für alle ADU eines Schaltfeldes (Leistungsberechnung, Leitungsschutz) oder für alle Schaltfelder eines Umspannwerkes (Synchronisation, Sammelschienenschutz) zu sichern ist.

4. Beispiele

Ein Minimalsystem für den Rechnereinsatz im Umspannwerk wird abhängig von der Verarbeitungsgeschwindigkeit des verwendeten Rechners nur einen eingeschränkten Funktionsumfang mit Echtzeitanforderungen bearbeiten (Bild 4a). Derartige punktuelle Lösungen für ausgewählte Funktionen haben auch auf Grundlage der 8-Bit-Technik für Rationalisierungslösungen beachtliche Bedeutung, beispielsweise für die Lebensdauerfahrweise von Transformatoren oder für die Ausschaltstromerfassung von Leistungsschaltern. Höhere Zuverlässigkeitsforderungen können zum Übergang auf ein redundantes System mit erweitertem Funktionsumfang führen (Bild 4b).

Für 110-kV-VUW wurde eine strukturoptimierte Leittechnik (Bild 5) auf der Grundlage von ursadat 5000 durch das Institut für Energieversorgung entwickelt [10] [11]. Funktionen mit hohen Zuverlässigkeitsanforderungen werden redundant in den Grundeinheiten GE2 und GE3 und die übrigen Funktionen nicht redundant in der GE4 realisiert. Den örtlichen Bedingungen bei der Betriebsführung angepaßt, ist dieses System im unbesetzten VUW mit Fernsteuerung und Fernparametrierung von der Netzbefehlsstelle ausgerüstet. In die Fernmeldung sind die Ergebnisse der Eigenüberwachung integriert. Für die Meldungsprotokolle können differenzierte, kombinierbare Kategorien genutzt werden. Die Automatisierungsfunktion enthält neben Umschaltautomatiken auch die kurzzeitige niederohmige Sternpunkterdung (KNOSPE) und die Automatische Frequenzentlastung (AFE). Erste Erfahrungen mit einem integrierten Schutz können bezüglich eines zweistufigen Maximalstromzeitschutzes während des laufenden Dauerbetriebs gesammelt werden. Die Ergebnisse der Erdschlußüberwachung werden für eine Erdschlußstatistik genutzt. Parallel zur Entwicklung der Anwendersoftware sind Softwarewerkzeuge für die Projek-

Bild 4. Minimalsystem für den Mikrorechnereinsatz, beispielsweise für die Meldungsverarbeitung
a) normale Zuverlässigkeitsanforderungen
b) hohe Zuverlässigkeitsanforderungen



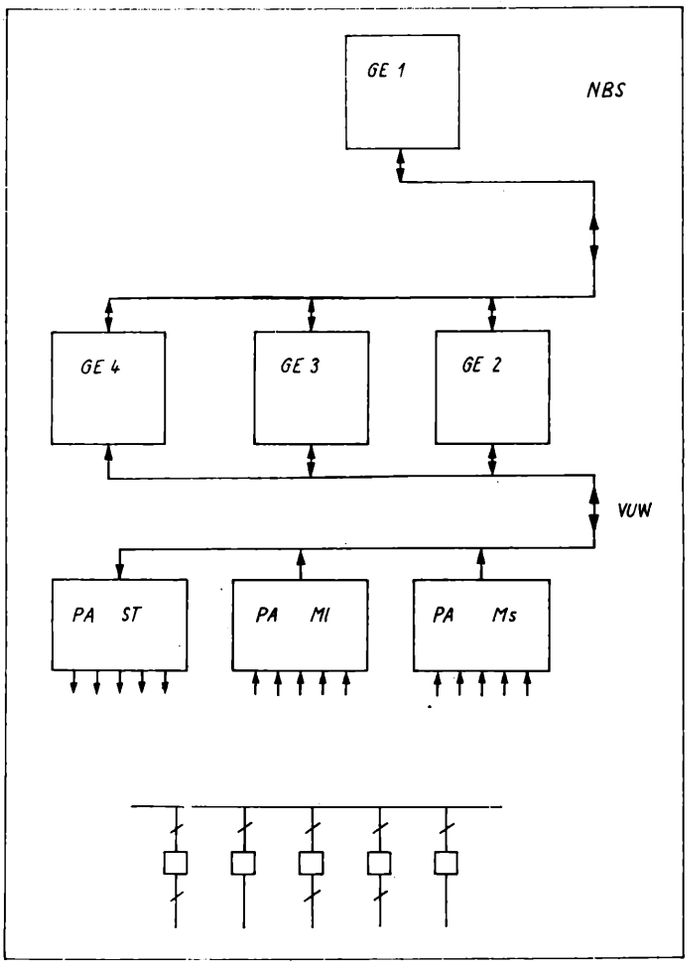


Bild 5. Mikrorechnereinsatz mit optimierter Struktur für die VUW-Steuerung (stark vereinfacht, siehe [10])

tierung entstanden, die für die geplanten Folgevorhaben einen Effektivitätsgewinn ergeben.

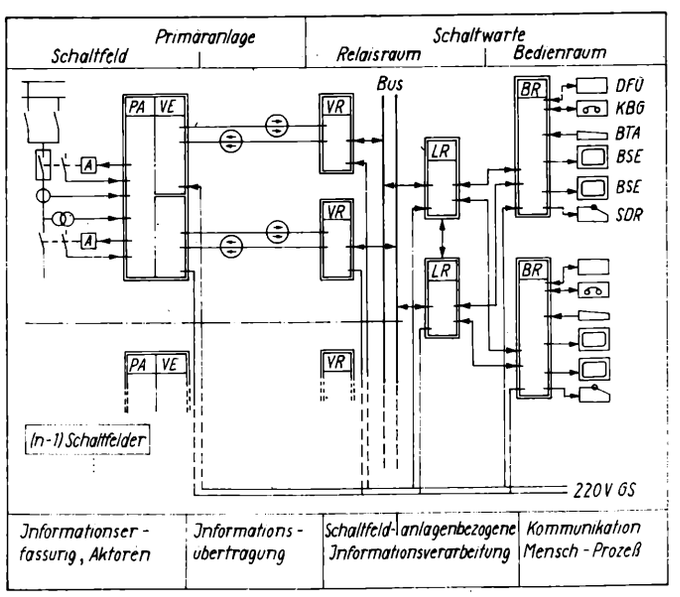
Für 380- und 220-kV-Umspannwerke wurde durch den VEB „Otto-Buchwitz", Starkstrom-Anlagenbau Dresden, das modulare, schaltfeldorientierte Schaltanlageninformationssystem SIS/HS (Bild 6) entwickelt [12] [13]. Die im Hochspannungsschaltfeld mit $t_{\triangle} = 1{,}25$ ms und $a = 12$ bit digitalisierten Momentanwerte von Strom und Spannung werden gemeinsam mit den Meldungen multiplex über Lichtwellenleiter mit 200 kBd zur Schaltwarte übertragen. Durch die schaltfeld- und anlagenbezogene Informationsverarbeitung in einem busgekoppelten Mehrrechnersystem werden alle für die Betriebsführung in einem Umspannwerk erforderlichen Funktionen, außer dem Schutz, mit $t_{z\,min} = 10$ ms für die Meldungen bis $t_{z\,max} \approx 1$ s für zyklisch nachzuführende Meßwerte realisiert. Die mit Hilfe eines zentralen Taktgebers über ein Taktverteilungssystem erreichte gleichzeitige Abtastung aller Momentanwerte in allen Schaltfeldern des Umspannwerkes ermöglicht den Synchronvergleich beim Schalten der Leistungsschalter und ist eine Voraussetzung für das Synchronisieren zweier asynchroner Teilnetze.

Eine hohe Bediensicherheit wird durch einen umfassenden Schaltfehlerschutz und durch die gute Übersichtlichkeit bei der Zustandsdarstellung des Umspannwerkes auf Farbmonitoren am Bedienarbeitsplatz (Titelbild) erreicht. Auch transportable Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen können manuell im Rechner nachgeführt und demzufolge im Schaltfehlerschutz sowie bei der mit weißer Farbe hervorgehobenen Darstellung geerdeter Sammelschienenabschnitte auf dem Bildschirm berücksichtigt werden.

Die hohe Zuverlässigkeit dieser Leittechnik und besonders für die Funktion Steuern wird durch den einschließlich der Hilfsenergieversorgung redundanten Aufbau sowie durch die zeit- und ereignisorientierte Eigendiagnose gesichert. Durch schaltungstechnische und konstruktive Maßnahmen, aber auch infolge spezieller Maßnahmen, z.B. Barrierenbildung und diversitäre Redundanz wird die elektromagnetische Verträglichkeit beherrscht [5] und durch Prüfungen nachgewiesen [6].

Erfahrungen bei der Inbetriebnahme und beim Probebetrieb in einem 380/110-kV-UW, einschließlich mit den dafür entwickelten rechnergestützten Testhilfsmitteln, sind eine gute Grundlage für weitere Realisierungsvorhaben im Übertragungsnetz der DDR [14] [15].

Bild 6. Grundschaltung des SIS/HS für ein 380/110-kV-Umspannwerk (Es wurden nur eines der n Schaltfelder mit den zugeordneten Teilsystemen und die Anschaltung von nur zwei ausgewählten Schaltgeräten in diesem Schaltfeld eingezeichnet)



5. Ausblick

Weitere Innovationen auf dem Gebiet der Betriebsführung und des Schutzes werden auf der mikrorechnergestützten Leittechnik und auf der Nutzung von Lichtwellenleiter-Übertragungen aufbauen [3] [8] [16]. Beim Schutz sind im Übertragungsnetz große Effekte durch die genauere Unterscheidung von Fehlerzustand und zeitlich begrenzt zulässigen Überlastungen zu erwarten. Die Einbeziehung zusätzlicher Automatisierungsfunktionen einschließlich ihrer Parametrierbarkeit ermöglichen weitere Verbesserungen der Bediensicherheit und Reaktionszeit.

Die Weiterentwicklung der Mikrorechentechnik bezüglich Verarbeitungsbreite und Geschwindigkeit wird sich auf die Leittechnik auswirken. Die Strukturen werden von der Zuverlässigkeit und den sinkenden Hardwarekosten beeinflußt. Neben der bezüglich Schaltfeld und Funktion auch gegenwärtig zum Zwecke der Anpassung und Erweiterung erreichten Modularität wird zukünftig die Transparenz verbessert werden, um für die Software eine Fehlerarmut und Kostenreduzierung zu erreichen.

Dabei ist die Entwicklung der Schaltanlagenleittechnik in enger Verbindung zum weiteren Ausbau der mikrorechnergestützten Netzleittechnik in der DDR zu sehen [17].

Literatur

[1] *Mitzinger, W.:* Grundlinien zur Entwicklung der Kohle- und Energiewirtschaft der DDR bei der Verwirklichung der Beschlüsse des XI. Parteitages der SED. Plenarvortrag zur VIII. Wiss. Konf. für Energiewirtschaft der Ingenieurhochschule Zittau, 22. bis 24. April 1987

[2] *Bauer, H.:* Strategie der funktionellen Realisierung der Prozeßleittechnik für Umspannwerke unter besonderer Berücksichtigung der Zuverlässigkeit. 11. Wiss. Konf. der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden (1987) Bd. E, S. 5–8

[3] *Markusch, D.; Ambrosch, H.:* Anforderungen an eine neue Generation der Steuer-, Schutz- und Automatisierungstechnik in Umspannwerken des Elektroenergiesystems. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 9, S. 354–358 und 10, S. 386

[4] *Moraw, T.:* Leittechnik in Hochspannungsschaltanlagen. E und M 103 (1986) 7/8, S. 332–341

[5] *Bauer, H.; Langer, G.:* Erhöhung der Zuverlässigkeit einer modernen Prozeßleittechnik für Umspannwerke durch Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit. Wiss. Z. der TU Dresden 36 (1987) 3, S. 175–181

[6] *Bauer, H.; Langer, G.:* Modelle und Strategien für Prüfungen der elektromagnetischen Verträglichkeit. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, S. 409–415

[7] *Fritzsche, W.; Kramer, K.:* Hilfsenergieversorgung für Umspannwerke mit Mikrorechnern für Steuerung und Schutz. 11. Wiss. Konf. der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden (1987), Bd. E, S. 17–20

[8] *Herrmann, H.-J.; Rothe, K.; Schiel, L.:* Mikrorechnergestützter Schutz für Leitungen und Transformatoren. Wiss. Berichte IHZ 720 (1987) Session III, 4, S. 1–6

[9] *Bogucki, A.; Sowa, P.:* Transiente Vorgänge während Kurzschlußfolgefehlern in Elektroenergiesystemen. 10. Wiss. Konf. der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden (1984), Bd. E, S. 45–49

[10] *Buchholz, B.; Kreuzer, E.; Mahnert, H.; Thämelt, G.; Tscheschner, Chr.:* Methoden der Zuverlässigkeitssicherung integrierter mikroelektronischer Leitsysteme für VUW-110-kV. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 7, S. 256–260

Modelle und Strategien für Prüfungen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)

H. Bauer, KDT; G. Langer, KDT; Dresden

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen

A	Algorithmus
B	Bedingungen
C_k	Koppelkapazität
C_p	parasitäre Koppelkapazität
E	fehlerhaftes Ergebnis eines Algorithmus
F	Funktion oder Funktionsfehler
F_A	Funktionsfehler durch Algorithmen
F_K	Funktionsfehler durch kombinatorische Elemente
F_S	Funktionsfehler durch sequentielle Elemente
$f(\cdots)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
$F(\cdots)$	Integrale Verteilungsfunktion
I	Störsignal eines kombinatorischen Elementes
IC	Schaltkreis
i_{st}	Stör(impuls)strom
k	Konstante für Anstiegsverlauf der Störspannung
K	Kombinatorisches Element
l	Länge (eines Leiterzuges)
L_i	Induktivität (eines Leiterzuges)
M	Meldesignal
n	Anzahl von Ereignissen
ω	Kreisfrequenz
R	ohmscher Widerstand (einschl. Stromverdrängung)
s	Steilheit
S	sequentielles Element
σ	Dämpfung
t	Zeit, Dauer
t_a	zeitlicher Abstand zwischen zwei Störimpulsen
t_b	zulässige Impulsbreite ohne Störwirkung am Schaltkreis
t_c	Impulsdauer
t_f	Dauer des Funktionsablaufs im Gerät
t_{ges}	gesamte Betrachtungsdauer (Betriebsdauer, Prüfdauer)
t_k	kritische Dauer während des Funktionsablaufs
t_v	Verzögerungszeit zwischen Störbeeinflussung (t_k) und der beobachtbaren Wirkung (Funktionsfehler)
t_z	Zyklusdauer (einer Funktion)
u	Stör(impuls)spannung in der elektronischen Schaltung
u_{st}	am Gerät (außen) anliegende Stör(impuls)spannung
Z	Störzustand (eines sequentiellen Elements)
X	unbeeinflußte Größe
X^*	durch Barrieren reduzierte Wirkung
X^{**}	zusätzlich durch Tore verdeckte Wirkung

Dr.-Ing. *Hartmut Bauer* ist Dozent an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, Wissenschaftsbereich Elektroenergietechnik; Dipl.-Ing. *Gunter Langer*, VEB „Otto Buchwitz" Starkstrom-Anlagenbau Dresden.

Beginnend bei der konzeptionellen Arbeit für die Entwicklung oder für den Einsatz elektronischer Gerätesysteme sind Maßnahmen zur Sicherung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) einzubeziehen. Gestützt auf technische Vorschriften und Berechnungen sind hierzu experimentelle Untersuchungen erforderlich. Abhängig vom Realisierungsstand können Entwicklungsprüfungen, Typprüfungen und Feldtests unterschieden werden.
Gegenwärtig sind derartige Prüfungen dadurch gekennzeichnet, daß

— eine Normung von Prüfimpulsen international weitgehend erfolgt ist [1] bis [5]
— Geräte für die Erzeugung genormter, repräsentativer Störimpulse angeboten oder gebaut werden [5] bis [7]
— der Nachweis zur EMV über die Gerätefunktion, d.h. mit Hilfe der Registrierung von Funktionsfehlern erfolgt.

Daraus ergeben sich einige Probleme bei der Vorbereitung und Auswertung von EMV-Prüfungen:

• Im Inneren von Gerätesystemen mit hohen Zuverlässigkeitsanforderungen werden mehrere Barrieren gegen Störbeeinflussung und gegen Störauswirkung aufgebaut. Die Wirksamkeit von EMV-Maßnahmen für eine Barriere wird bei Prüfung auf Funktionsfehler stets gemeinsam mit den realisierten Maßnahmen einer anderen Barriere bewertet. Der Nachweis signifikanter Wirkungen der zu beurteilenden EMV-Maßnahme wird dadurch erschwert.
• Beim Funktionsablauf in der elektronischen Schaltung (Hard- und Software) treten oft Zeitbereiche unterschiedlicher Empfindlichkeit gegenüber Störbeeinflussung auf. Es wechseln sich kritische Betriebsphasen mit unkritischen (inaktiven) Phasen ab. Um eine richtige Auswertung der Prüfungen zu ermöglichen, ist dafür zu sorgen, daß die Störimpulse mit ausreichender Häufigkeit in die kritischen Betriebsphasen fallen. Hierzu ist allein der Übergang auf Burstimpulse oft nicht ausreichend.
• Auch ein wirksam gestörtes Schaltungselement ergibt nicht unmittelbar einen beobachtbaren Funktionsfehler. Im Sinne der Fehlertoleranz beabsichtigter Wirkungen weiterer Barrieren kann das Auftreten des Funktionsfehlers verzögert sein, oder auch infolge einer Torwirkung ausbleiben.

Daraus ist zu schlußfolgern, daß zur Vorbereitung und Auswertung von EMV-Prüfungen ein tieferes und systematisches theoretisches Durchdringen bezüglich Fehlerentstehung und Zielrichtung erforderlich ist.

1. Systematisierung und Wichtung der Störbeeinflussung

Da jede Funktion, die mit Hilfe mikrorechnergestützter Leittechnik [8] realisiert wird, Anforderungen bezüglich

— Zuverlässigkeit (und Sicherheit)
— Genauigkeit
— Reaktionszeit

stellt [9], sind Störbeeinflussungen ebenfalls hinsichtlich dieser drei Einflüsse zu analysieren.
Dabei ist zu unterscheiden:

— die mögliche Auswirkung als Störung oder Zerstörung
— das beeinflußte Objekt als digitale oder analoge Schaltung
— die Störgröße als periodische oder impulsförmige Größe
— der Störweg als Strahlung, feld- oder drahtgebunden
— die Beaufschlagungsart symmetrisch (Gegentakt) oder asymmetrisch (Gleichtakt),

um einschätzen zu können, ob die jeweilige Störgröße entsprechend ihrer Häufigkeit, Höhe und Frequenz (Steilheit) für die zu untersuchende Schaltung relevant ist.
Beispielsweise erfordert die Dauerwirkung infolge einer Zerstörung während des Betriebes Maßnahmen zur zyklischen Überwachung und zur Fehlerortung, damit die Fehlerbeseitigungsdauer und demzufolge die Wahrscheinlichkeit für Funktionsfehler (Mehrfachfehler bei redundanten Systemen) klein bleibt.
Demgegenüber kann die Zerstörung während einer Prüfung ohne besondere Aufwendungen nachgewiesen werden. Deshalb konzentrieren sich die folgenden Ausführungen auf Störungen.
Bei analogen Schaltungen können bereits in die Schaltung einge-

[11] *Buchholz, B.; Mahnert, H.; Thämelt, G.:* Automatisierte Betriebsführung vereinfachter 110-kV-Umspannwerke auf der Basis von Mikrorechnersystemen. ELEKTRIE, Berlin 30 (1985) 7, S. 245–248
[12] *Bauer, H.; Dreßler, D.; Czybik, H.-P.; Ambrosch, H.:* Betriebsführung von Schaltanlagen bei Nutzung von Mikrorechnern und Lichtwellenleitern. Konferenz „Automatisierung und Steuerung der Verteilungsnetze II", Tabor, ČSSR, 12. bis 14. Juni 1984, Bd. I, S. 71–80
[13] *Dreßler, D.:* Mikrorechnergestützte Prozeßführung in Umspannwerken — Das Schaltanlageninformationssystem Hochspannung. Wiss. techn. Inf. des VEB KAAB/KEA 19 (1983) 4, S. 176–180
[14] *Bauer, H.; Dreßler, D.; Engelage, D.; Gnüchtel, K.; Langer, G.:* Experience with a modern process control technique on high voltage substations in the GDR. CIGRE (1986), paper 34-06
[15] *Henkel, G.; Gnüchtel, K.; Bauer, H.:* Erfahrungen bei der Anschaltung und Betriebsvorbereitung mikrorechnergestützter Prozeßleittechnik für ein 380-110-kV-Umspannwerk. 11. Wiss. Konf. der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden (1987), Bd. E, S. 9–12
[16] *Keßler, G.:* Stand und Tendenzen der Automatisierungstechnik in Elektroenergieanlagen. Vortrag zur VIII. Wiss. Konf. für Energiewirtschaft der Ingenieurhochschule Zittau, Session III, 22. bis 24. April 1987
[17] *Jarosczinsky, H.:* Mehrmikrorechnersystem für Netzleitstellen. Energietechnik 38 (1988) (in Vorbereitung)

EA 5962

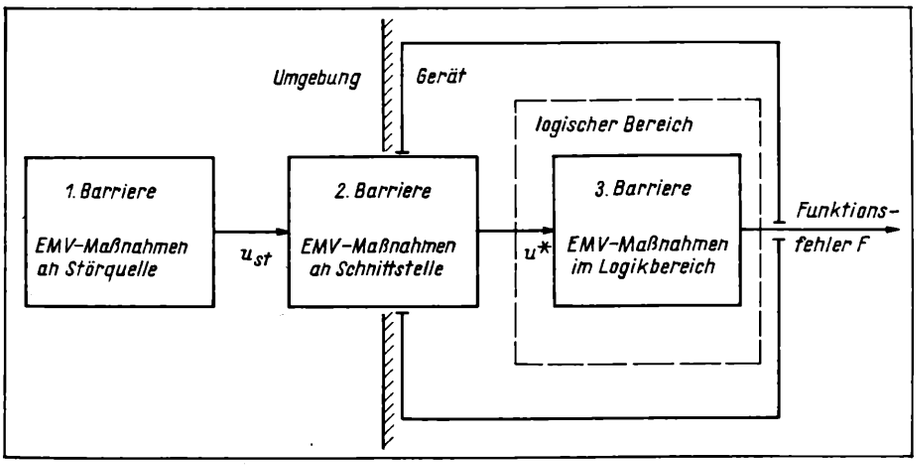


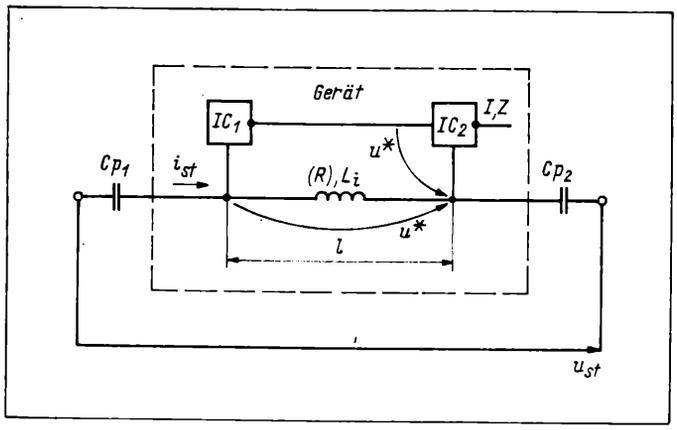
Bild 1. Barrierenmodell für EMV-Maßnahmen entsprechend deren Einsatzort

Bild 2. Vereinfachtes Modell zur kapazitiven Störbeeinflussung von elektronischen Schaltungen in einem Gerät
(Bezeichnungen im Text, Abschn. 3.1.)

koppelte, periodische Störspannungen von einigen Millivolt die Genauigkeit stören, während Störimpulse oft unbedeutend sind. Der Einfluß von Häufigkeit und Dauer während des Betriebes kann zweckmäßig mit Hilfe einer zeitorientierten Wahrscheinlichkeit abgeschätzt werden [10]. Spezielle Schwierigkeiten beim Prüfnachweis sind hierbei nicht zu erwarten.
Für digitale Schaltungen sind eingekoppelte periodische Störgrößen im Millivoltbereich unbedeutend. Störimpulse von wenigen Volt können bei einer Impulsdauer unter 1 µs als Hauptursache von Störwirkungen angesehen werden. Der Einfluß von Häufigkeit und Dauer kann mit der ereignisorientierten Wahrscheinlichkeit [10] abgeschätzt werden, wobei zu beachten ist, daß durch sequentielle Schaltungselemente die Dauer des Störimpulses in einen längerdauernden Störzustand gewandelt werden kann.
Bei mikrorechnergestützter Leittechnik für Umspannwerke stellt die Steuerung die höchsten Zuverlässigkeitsanforderungen. Demzufolge steht die Störbeeinflussung digitaler Schaltungen durch drahtgebundene Einkopplung impulsförmiger Störgrößen in das Gerät auch bei den Prüfungen im Vordergrund.

2. Barrierenmodell zum örtlichen Einsatz von EMV-Maßnahmen

Entlang des Weges der Störbeeinflussung von der Störquelle bis zum möglichen Funktionsfehler des elektronischen Geräts lassen sich die EMV-Maßnahmen konzeptionell drei Barrieren zuordnen (Bild 1) [11].
Maßnahmen zur 1. Barriere werden oft auf der Grundlage von Projektierungsrichtlinien ausgeführt. Für den Gerätehersteller können sie als zuverlässige Barriere nur dann akzeptiert werden, wenn ihre Wirksamkeit zyklisch oder durch Ausfallüberwachung geprüft wird und wenn gesichert werden kann, daß auch zu späteren Zeitpunkten während des Betriebes keine Änderungen durch Dritte erfolgen, die den Inhalt der Richtlinien umgehen.
Maßnahmen zur 2. und 3. Barriere können vom Gerätehersteller gesichert werden. Zur 2. Barriere zählen die EMV-Maßnahmen an allen Schnittstellen des Gerätes zum Prozeß (z.B. galvanische Trennung, Schirme, Filter) [11]. Die 3. Barriere wird durch Fehlererkennungs- und Fehlertoleranzprinzipien realisiert [12]. Es werden störbedingte Veränderungen logischer Zustände erkannt und deren Auswirkung blockiert. Diese Wandlung von aktiven in passive Funktionsfehler führt erst einmal zu einer Zunahme der passiven Funktionsfehler. Diese Zunahme läßt sich durch den gezielten Einsatz von Redundanz (parallele Funktionsabläufe, Funktionswiederholungen) herunterpegeln, so daß eine Verträglichkeit erreichbar ist. Dabei können die Maßnahmen im Bereich der Hardware und der Software realisiert sein. Aus diesem Modell (Bild 1) ist ableitbar, daß bei einer Bewertung der EMV mit Hilfe der Registrierung von Funktionsfehlern nicht unterscheidbar ist, ob die Verträglichkeit durch die 2. oder die 3. oder durch beide Barrieren gemeinsam erreicht wird.
Zumindest für Entwicklungsprüfungen ist aber die Wirksamkeit von Maßnahmen und deren Variation an einer Barriere detailliert einzuschätzen.
Bei Typprüfungen ist zu unterscheiden, ob Maßnahmen an beiden Barrieren als gleichwertig zur Sicherung der EMV akzeptiert werden. Ist das der Fall, wird die gemeinsame Prüfung beider Barrieren, demzufolge die Bewertung nach der Gerätefunktion vertretbar.



Das setzt jedoch
- die Analyse von Torwirkungen und Verzögerungszeiten bezüglich der Beobachtbarkeit von Funktionsfehlern und
- die Bewertung der Repräsentanz des Prüfprozesses für einen vieljährigen Dauerbetrieb mit geforderter hoher Funktionszuverlässigkeit

voraus.

3. Fehlermodell zur Wirkung von Störbeeinflussungen im Gerät

3.1. Koppelmechanismus, Phasenmodell und Torwirkung

3.1.1. Koppelmechanismus

Einen dominierenden Einfluß auf die Störbeeinflussung digitaler Schaltungen haben die kapazitiv eingekoppelten Störimpulse (Bild 2). Dabei treiben die zumeist drahtgebundenen von der Störquelle übertragenen Störimpulsspannungen u_{st} Ströme i_{st} durch die als parasitäre Koppelkapazität C_p wirkenden galvanischen Trennstellen an den Schnittstellen zwischen Gerät und Prozeß. Diese impulsförmigen Ströme bewirken Spannungsabfälle u^* (innere Störspannung als abgeschwächte Störgröße) über den als Induktivität L_i wirkenden, die Schaltkreise IC verbindenden Leiterzügen der Länge l.

Für den Beginn der Störimpulsspannung $\left(\text{Bereich } \frac{\mathrm{d}i_{st}}{\mathrm{d}t} \neq 0\right)$ mit der Näherung

$$u_{st}(t) = k\,t^2 \qquad \text{für } t < t_{max} \tag{1}$$

erhält man über dem Leiterzug die Längsspannung [11]

$$u^*(t) = \frac{2\,k}{\omega^2 + \sigma^2}\left[1 - \frac{\sigma}{\omega}\sin\omega t\,\mathrm{e}^{-\sigma t} - \cos\omega t\,\mathrm{e}^{-\sigma t}\right] \tag{2}$$

und mit $\sigma \ll \omega$

$$u^*(t) \approx 2\,k\,L_i\,C_k\left[1 - \cos\left(\sqrt{\frac{1}{L_i C_k}}\,t\right)\exp\left(\frac{-R}{2\,L_i}t\right)\right] \tag{3}$$

mit

$$C_k = \frac{C_{p1}\cdot C_{p2}}{C_{p1} + C_{p2}}. \tag{4}$$

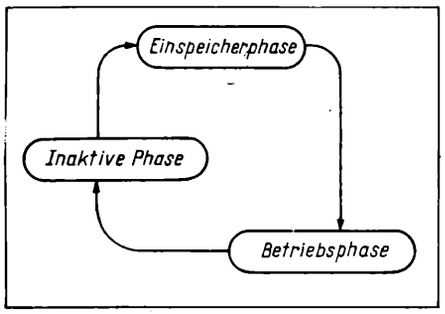


Bild 3. Phasenmodell für den Arbeitsablauf einer sequentiellen Schaltung

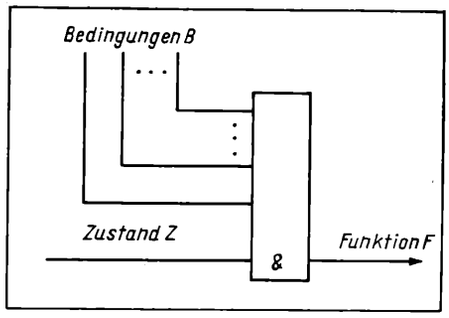


Bild 4. Modell für die Torwirkung von Bedingungen auf die Gerätefunktion

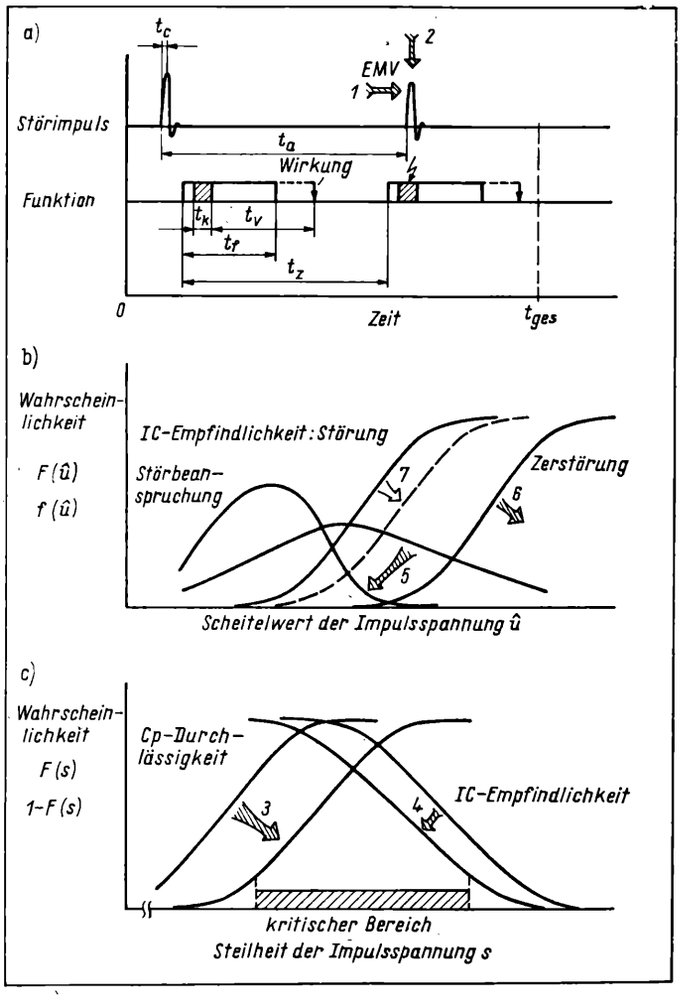


Bild 5. Fehlermodell zur Wirkung von impulsförmigen Störbeeinflussungen

a) zeitliches Verhalten; b) Einfluß der Amplitude; c) Einfluß der Steilheit

Wirkung von EMV-Maßnahmen:

1 Vergrößerung des Abstandes zwischen den Störimpulsen bzw. Reduzierung der Häufigkeit von Störimpulsen (1. Barriere)
2 Reduzierung der Spannungshöhe des Störimpulses (1. und 2. Barriere)
3 Reduzierung der wirksamen parasitären Koppelkapazität (2. Barriere)
4 Übergang auf trägere Schaltkreisfamilie
5 Reduzierung der Störspannung in der Schaltung (2. Barriere)
6 Erhöhung der Zerstörfestigkeit der Schaltkreise
7 Erhöhung der Störempfindlichkeit der Schaltkreise (stark eingeschränkt durch vorgeschriebene Logikpegel)

Diese Längsspannungen können als Querspannungen an den Eingängen von Schaltkreisen (kombinatorische oder sequentielle Elemente) wirken.
Damit können auch Maßnahmen zur 2. Barriere quantitativ bewertet werden (Anhang 1).

3.1.2. Phasenmodell

Für sequentielle Elemente wird ein Phasenmodell (Bild 3) vorausgesetzt [12]. Demnach können Störimpulsspannungen auf Datenleitungen während der Speicherphase zur Speicherung verfälschter Zustände führen. Während der Betriebsphase kann es störbedingt zu Zustandsübergängen kommen, so daß nicht aktuelle Betriebszustände oder Fehlerzustände [12] entstehen.

3.1.3. Torwirkung

Es muß davon ausgegangen werden, daß diese Zustandsübergänge infolge möglicher Torwirkungen von äußeren und inneren Bedingungen (Bild 4) außerhalb des Gerätes nicht unmittelbar beobachtbar sind. Sind diese Bedingungen während der Prüfung nicht erfüllt, kann bei Beobachtung der Gerätefunktion EMV vorgetäuscht werden.

3.2. Zeitverhalten und Einfluß der Störgröße (Störmodell)

3.2.1. Zeitliche Lage von Störimpuls und Funktionsablauf

Bei Prozeßleitsystemen ist für viele Funktionen die Dauer ihrer Ausführung t_f nicht identisch mit der gesamten Betriebsdauer t_{ges}. Beispielsweise wird die Steuerung von Schaltgeräten relativ selten ablaufen, um einen Leistungsschalter oder Trenner zu betätigen oder um diese Funktion zu prüfen. Es ist selbstverständlich, daß bei der wesentlichen Reduzierung der Betrachtungsdauer t_{ges} von der Betriebsdauer auf die Prüfdauer diese Funktion auch wesentlich häufiger ablaufen muß, also zu manipulieren ist, damit deren Zykluszeit t_z nicht wesentlich größer als die Funktionsdauer t_f wird (Bild 5a). Damit kann erreicht werden, daß die Wahrscheinlichkeit für mindestens ein Eintreten eines in zeitlichen Abständen t_a erzeugten Prüfstörimpulses und demzufolge einer abgeschwächten

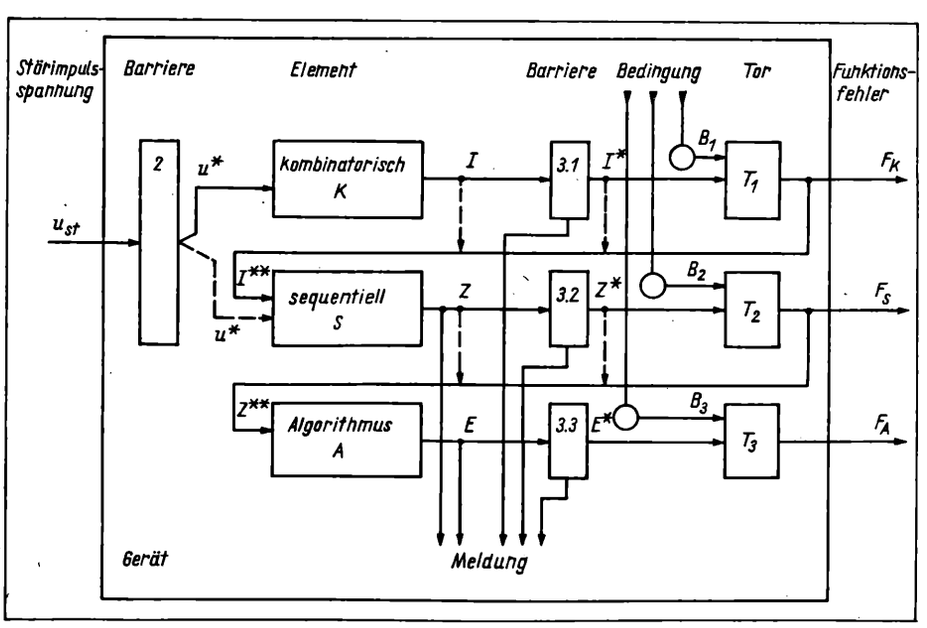


Bild 6. EMV-Modell für ein elektronisches Gerät

Störgröße mit der Impulsdauer t_c während der Funktionsdauer ausreichend groß ist.

$$p = 1 - \left[1 - \frac{t_f - t_b}{t_z}\right]^{\frac{t_{ges}}{t_a}} \left[1 - \frac{t_c - t_b}{t_a}\right]^{\frac{t_{ges}}{t_z}}. \quad (5)$$

Dabei ist bereits berücksichtigt, daß der Schaltkreis erst dann gestört wird, wenn die Impulsdauer einen bestimmten, von der Schaltkreisfamilie abhängigen Wert t_b überschreitet.
Dem gleichen Ziel dient die Verkürzung der zeitlichen Abstände zwischen den Prüfimpulsen (höhere Wiederholfrequenz oder Burstimpulse), wobei eventuell Aufladeerscheinungen in Schaltungsteilen berücksichtigt werden müssen. Formal verglichen, ist genau das Gegenteil zur Wirkung von EMV-Maßnahmen beim Betriebseinsatz zu tun. Sie haben ja das Ziel, die Häufigkeit und Höhe (Bild 5a) von Störimpulsen mit Maßnahmen an der 1. Barriere zu reduzieren.
Die Verwendung des Phasenmodells für den Arbeitsablauf einer sequentiellen Schaltung zeigt, daß auch innerhalb der Funktionsdauer t_f inaktive Phasen auftreten können. Somit ist das Eintreten mindestens eines Störimpulses in die kritische Dauer t_k des Funktionsablaufs entscheidend. Wenn die Wahrscheinlichkeit dafür,

$$p = 1 - \left[1 - \frac{t_k - t_b}{t_z}\right]^{\frac{t_c}{t_a}} \left[1 - \frac{t_c - t_b}{t_a}\right]^{\frac{t_{ges}}{t_z}} \quad (6)$$

bei $t_c, t_k > t_b$

nicht ausreichend groß ist, besteht die Gefahr, daß EMV vorgetäuscht wird.
Entscheidend für die Vorbereitung und Auswertung einer Prüfung sind nicht allein die Anzahl der kritischen Betriebsphasen n_k während der Prüfdauer

$$n_k \approx \frac{t_{ges}}{t_z} \quad (7)$$

oder die Anzahl der Prüfimpulse n_c während der Prüfdauer

$$n_c \approx \frac{t_{ges}}{t_a}.$$

Nur eine durchschnittliche Anzahl von

$$n = (t_k + t_c - 2\,t_b)\,\frac{t_{ges}}{t_z \cdot t_a}$$

bei

$$t_k, t_c > t_b \quad (9)$$

oder näherungsweise von

$$n \approx \frac{t_k \cdot t_{ges}}{t_z \cdot t_a}$$

für

$$t_b < t_c \ll t_k \quad (10)$$

Störimpulsen haben überhaupt die Möglichkeit, die Wirkung von EMV-Maßnahmen zu testen.
Damit kann die Repräsentanz einer Prüfdauer quantitativ bewertet werden (Anhang 2).

3.2.2. Stochastischer Einfluß von Störgröße und Empfindlichkeit

Genau betrachtet kann die IC-Empfindlichkeit gegenüber Störimpulsen als stochastische Größe durch Verteilungsfunktionen $F(s, \hat{u})$ beschrieben werden, die den Einfluß von Spannungshöhe $\hat{u}$ (Bild 5b) und Impulsdauer der abgeschwächten Störgröße bzw. Steilheit s als Näherung für den Anstiegsverlauf [11] des Störimpulses (Bild 5c) berücksichtigen. Dabei kann eine Abhängigkeit zwischen Spannungshöhe und Impulsdauer bestehen.
Signifikante Unterschiede bestehen bei den Scheitelwerten bezüglich Störschwelle und Zerstörschwelle. Die Streuung der Verteilungsfunktion für die Störempfindlichkeit wird relativ klein sein, so daß sie auch durch eine Einpunktverteilung mit ausreichender Genauigkeit beschrieben werden kann. Die Verteilungsfunktion für die Steilheit wird von der wirksamen Impulsdauer am Schaltkreis bestimmt und kann durch äußere Beschaltung der IC oder durch Übergang auf eine andere Schaltkreisfamilie in Bereiche kleinerer Steilheiten verlagert werden.
Ähnlich muß die Größe der Störbeanspruchung als Zufallsgröße angesehen und beschrieben werden. Das gilt besonders für den Betrieb, aber auch für die Prüfung mit realen Störgeneratoren bei nicht reproduzierbaren Einzelimpulsen. Die Dichtefunktion für den Scheitelwert (Bild 5b) läßt sich bei Prüfgeneratoren mit reproduzierbaren Prüfstörgrößen wiederum als Einpunktverteilung nähern. Die Größe der für kapazitive Beeinflussung typischen parasitären Koppelkapazität bestimmt, bis zu welchen Steilheiten [genauer: Ansteigverlauf nach (1)] nur unbedeutende Spannungsabfälle in der Schaltung entstehen (Bild 5c). Erfahrungsgemäß ergibt sich ein kritischer Überlappungsbereich (Bild 5c) bei Zusammenwirken von TTL-Technik und den an den Schnittstellen zur Prozeßleittechnik wirkenden parasitären Koppelkapazitäten von 1 bis 1000 pF.
Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Störimpuls in dem Schaltkreis eine Störung ergibt, kann mit Hilfe der zweidimensionalen Verteilungen berechnet werden [14]:

$$p = \int_0^\infty f(\hat{u}, s)\, F(\hat{u}, s)\, \mathrm{d}\hat{u} \cdot \mathrm{d}s. \quad (11)$$

Gegenwärtig ist diese Beschreibung nur qualitativ verwendbar, da
— die Quantifizierung der Verteilungsfunktionen unangemessen aufwendig erscheint (da selbst der Nachweis von Einzelimpulsen im ns-Bereich innerhalb der Schaltung sehr schwierig ist, erfolgt je gerade der EMV-Nachweis anhand der Gerätefunktion),
— der Vorteil einer stochastischen Koordinierung nur dann ökonomisch nutzbar wird, wenn mindestens eine der beiden Zufallsgrößen einen großen Streubereich hat und
— der beobachtete oder vorausgesetzte statistische Charakter des EMV-Verhaltens [15] hauptsächlich durch das Zeitverhalten (Bild 5a) und weniger durch die Streubereiche von Beanspruchung und Stehvermögen (Bilder 5b und 5c) verursacht werden.

3.3. EMV-Modell eines elektronischen Gerätes

3.3.1. Funktionsfehler durch kombinatorische Elemente

An den Schnittstellen zwischen Umwelt und Gerät bewirken die Maßnahmen zur 2. EMV-Barriere, daß die Störimpulsspannung u nur noch in abgeschwächter Form im Inneren der elektronischen Schaltungen vorkommt (Bild 6). Wirkt die abgeschwächte Störspannung u^* auf ein kombinatorisches Element K, kann bei Überschreitung der Störschwelle ein Störsignal I entstehen, dessen Dauer etwa gleich der Wirkdauer (Impulsdauer) von u^* ist. Das Störsignal ist ein logisches Signal, das über logische Wege an Geräteschnittstellen gelangt und dort als Funktionsfehler F_K wirksam werden kann.
Schaltungen mit größeren Trägheiten, wie z.B. Optokoppler, *RC*-Glieder, langsame IC-Familien oder Relais, wirken als Barriere 3.1 (Bild 6) der Ausbreitung von kurzzeitigen Störsignalen entgegen. Führt der logische Weg für das Störsignal über weitere kombinatorische Schaltungen zur Geräteschnittstelle, können Bedingungen B_1 während der Wirkdauer des Störsignals dessen Durchschalten nach außen bewirken, aber auch verhindern. Falls die Bedingungen für ein Durchschalten nicht erfüllt sind, ist das Störsignal nach außen wirkungslos, F_K infolge dieser Torwirkung T_1 also nicht beobachtbar.
Soll die verträglichkeitserhöhende Wirkung der Barriere 3.1 getestet werden, muß das Tor 1 durch direkte oder mittels Algorithmen veranlaßte Steuerung der Bedingungen B_1 geöffnet werden, um Funktionsfehler analysieren zu können.

3.3.2. Funktionsfehler durch sequentielle Elemente

Das Störsignal I eines kombinatorischen Elements kann direkt oder in Abhängigkeit von der Barrierewirkung I^* bzw. der Torwirkung I^{**} an Steuereingängen eines sequentiellen Schaltungselements S gelangen (Bild 6). Dieses Störsignal oder aber auch die unmittelbare Wirkung der abgeschwächten Störspannung u^* können den logischen Zustand von S in den gestörten Zustand Z verändern. Der Zustand Z kann direkt oder über kombinatorische Elemente eine Schnittstelle erreichen und als Funktionsfehler F_S wirksam werden. Seine Wirkung ist gefährlicher, da die Dauer von Z nicht von der Wirkdauer von u^* begrenzt wird, sondern bis zur nächsten Speicherphase (Bild 3) anhält. Maßnahmen der Barriere 3.1 sind für eine Barriere 3.2 nur in Ausnahmefällen erfolgreich. Wirkprinzipien und die Dimensionierung der Barriere 3.2 erfordern Maßnahmen zur Fehlererkennung und Fehlertoleranz [12], in die auch die Meldesignale über das Ansprechen der Barriere einzubeziehen sind.

3.3.3. Funktionsfehler durch Algorithmen

Algorithmen A können nicht direkt durch Störspannungen u^* oder Störsignale I bzw. I^{**} beeinflußt werden. Sowohl der Informations-

inhalt (Daten) als auch der Verarbeitungsablauf (Programm) der Algorithmen werden von sequentiellen Elementen getragen.
Greift ein Algorithmus auf ein sequentielles Element zu, das in den Störzustand Z übergegangen ist, kann es infolge Daten- oder Programmverfälschung zum fehlerhaften Ergebnis E kommen. Dieses Ergebnis E kann nach außen als Funktionsfehler F_A wirken. Die Barriere 3.3, die ebenfalls aus Algorithmen bestehen kann, ermöglicht die Blockierung dieses Funktionsfehlers, und durch ein abgegebenes Meldesignal können Wiederholungen (beginnend mit einer neuen Speicherphase von S) angeregt werden. Ausführungsformen für Barriere 3.3 sind z. B. Eigenüberwachungsalgorithmen.
Die Torwirkung T_3 kann analog zu T_1 und T_2 betrachtet werden, wobei aber auch Algorithmen wirksam werden können. In Abhängigkeit von den Zykluszeiten der Algorithmen und den Möglichkeiten einer mehrmaligen Weiterverwendung abgespeicherter Zwischenergebnisse können Verzögerungszeiten zwischen dem Ereignis Störimpulsspannung u und Funktionsfehler infolge eines Algorithmus A auftreten.

4. Strategien für EMV-Prüfverfahren

4.1. Übersicht

Das EMV-Modell eines elektronischen Gerätes (Bild 6) zeigt, daß eine EMV-Nachweisführung an den Geräteschnittstellen nur bedingt zur Bewertung der Wirksamkeit spezieller EMV-Maßnahmen an einer Barriere geeignet ist.
Wenn beispielsweise die Gerätefunktion mit Hilfe eines Algorithmus realisiert wird, kann ein Funktionsfehler F_A infolge einer Störimpulsspannung u über den Weg: 2. Barriere — kombinatorische und sequentielle Elemente und Algorithmen, die eventuell mehrfach hintereinander geschaltet bzw. nacheinander abgearbeitet werden — Komponenten der 3. Barriere und Torwirkungen entstehen. Nur bei Kenntnis dieser Wirkungen wird es möglich, z. B. Maßnahmen zur 2. Barriere detailliert einzuschätzen. Diese Möglichkeit soll als indirekte Prüfung der 2. Barriere bezeichnet werden. Im Gegensatz dazu erfordert die direkte Prüfung der 2. Barriere eine Auswertung von Messungen unmittelbar hinter dieser Barriere. Das ist von besonderer Bedeutung für Entwicklungsprüfungen. Bei Typprüfungen wird die Auswahl der Prüfstrategie davon abhängig sein, ob die 3. Barriere als gleichwertige EMV-Maßnahme anerkannt wird. In vielen Fällen wird das davon bestimmt, ob die 3. Barriere nur aktive Funktionsfehler (Überfunktionen) zu Lasten passiver Funktionsfehler (Unterfunktionen) blockiert oder ob die Meldesignale zur Reduzierung der passiven Funktionsfehler (Fehlerredundanz) genutzt werden.
In jedem Fall ist eine repräsentative Prüfdauer unter Berücksichtigung des Zeitverhaltens (Bild 5a) zu wählen.

4.2. Direkte Prüfung der 2. Barriere

Um die Wirksamkeit der EMV-Maßnahmen an der 2. Barriere direkt prüfen zu können, wäre die vergleichende Messung der unbeeinflußten Impulsspannung u im Inneren der Schaltung und der infolge Barrierenwirkung abgeschwächten Spannung u^* erforderlich. Auch wenn Meßgeräte für den ns-Bereich verfügbar sind, besteht die Schwierigkeit der rückwirkungsfreien Anschaltung, so daß bis zur Entwicklung geeigneter EMV-Sensoren nur eine indirekte Prüfung der 2. Barriere möglich ist.

4.3. Direkte Prüfung der 3. Barriere

Aufgrund anzustrebender Redundanz von Barrieren oder bei einem günstigen Verhältnis von Wirksamkeit und Aufwand sind zur Erreichung der Zuverlässigkeits- bzw. Sicherheitsanforderungen zusätzliche Maßnahmen zur 3. Barriere in das Gerät zu integrieren. Daraus läßt sich das Erfordernis ableiten, die 3. Barriere zu prüfen, um eine bestimmte Fehler- bzw. Restfehlerwahrscheinlichkeit nachweisen zu können. Dabei wird von einer Beeinflussung logischer Elemente ausgegangen und die funktionszuverlässigkeitserhöhende Wirkung der 3. Barriere untersucht. Die Barriere 3.1 kann aus den Untersuchungen ausgeklammert werden, falls sie durch die Trägheit der in der Automatisierungstechnik anzusteuernden Elemente realisiert wird und somit außerhalb des Gerätes angeordnet ist.
Demzufolge ist eine Konzentration auf die Funktionsfehler F_S und F_A (Bild 6) möglich, deren Quelle im Fehlerzustand Z sequentieller Elemente liegt. Dieser Fehlerzustand kann für die Prüfung manipuliert, aber auch durch außen angelegte Störimpulsspannungen u_{st} erzeugt werden, da das Überschreiten der Störschwelle durch das rückwirkungsfreie Beobachten von Z nachweisbar ist. Dazu kann auch die Wirksamkeit der 2. Barriere reduziert werden, wenn systematische Veränderungen der Menge der Fehlerzustände auszuschließen sind.
Wichtige Voraussetzung für die Prüfung ist das zeitliche Zusammentreffen (Bild 5a) von u^* bzw. $I^{(**)}$ (Bild 6) mit kritischen Betriebsphasen der sequentiellen Schaltungen. Auch müssen die Algorithmen während der Prüfung häufig genug auf $Z^{(**)}$ zurückgreifen, wobei die Zykluszeit für den Algorithmus im Zusammenhang mit der Wirkdauer des Fehlerzustandes Z zu bewerten ist. Daraus können sich Anforderungen an spezielle Prüfsoftware und/oder an spezielle Hardwareabläufe ergeben, wie beispielsweise die Veränderung der Starthäufigkeit für zyklische Programmabläufe oder das Verändern von Monoflop-Laufzeiten durch Ändern der RC-Beschaltung.
Dabei ist die Vorgabe fester Bedingungen B (Bild 6) oder einer Folge von Bedingungen einzubeziehen, um die Wirkung der Tore während der Prüfung aufzuheben. Am einfachsten ist eine dauernde Toröffnung von außen durch feste Bedingungen erreichbar. Schwieriger ist der Fall, wenn durch eine Folge von Bedingungen nur eine kurzzeitige Toröffnung möglich ist, so daß eine ausreichend hohe Wahrscheinlichkeit für das zeitliche Zusammentreffen mit Z bzw. E zu sichern ist.
Wird zusätzlich berücksichtigt, daß sich durch Algorithmen Verzögerungszeiten ergeben können, ermöglicht die Beobachtung der Gerätefunktion mit der Registrierung von Funktionsfehlern F_S bzw. F_A die Bewertung der Maßnahmen zur 3. Barriere.

4.4. Gemeinsame Prüfung von 2. und 3. Barriere

Diese Strategie kann für Typprüfungen von Bedeutung sein. Das Gerät wird von außen mit reproduzierbaren Prüfstörgrößen u_{st} beaufschlagt, und die Ereignishäufigkeit von Funktionsfehlern F_S bzw. F_A wird bewertet. Hierbei wird mit unverminderter Wirkung der 2. Barriere geprüft. Genau wie bei den Prüfungen der 3. Barriere sind die Zeitbedingungen (Bild 5a) zu vergleichen und es ist nachzuweisen, daß bezüglich der Zyklus- und kritischen Zeiten durch die Prüfdauer eine repräsentative Betriebsdauer simuliert wird.
Bei hohen Zuverlässigkeitsanforderungen kann nachgewiesen werden, daß während der Prüfdauer t_{ges} kein Funktionsfehler F_A oder F_S aufgetreten ist, wobei von insgesamt n_c Prüfimpulsen [Gl. (8)] eine durchschnittliche Anzahl von n Störimpulsen [Gl. (10)] die EMV-Maßnahmen getestet hat.
Um einerseits eine ausreichend große Ereignisanzahl n zu erhalten und andererseits die Torwirkung aufzuheben, wird in vielen Fällen ebenfalls eine spezielle Prüfsoftware erforderlich sein.

4.5. Indirekte Prüfung der 2. Barriere

Sind bei der Beobachtung der Gerätefunktion Funktionsfehler vom Typ F_S auswertbar, läßt sich das auch zur Beurteilung der 2. Barriere verwenden. In diesem Fall ist außer der Überprüfung der Zeitbedingungen (Bild 5a) für das sequentielle Element die Ausschaltung der Torwirkung T_2 erforderlich und die Herabsetzung der Barriere 3.2 sinnvoll.
Anhand des Modells (Bild 6) können auch Kombinationen von Fehlerzuständen Z, Meldesignalen der Barriere 3.2 und Funktionsfehlern F_S oder Erweiterungen bis zu Funktionsfehlern F_A in ihrer Aussagefähigkeit über die Wirkung der 2. Barriere beurteilt werden.
Auf der Grundlage des Modells (Bild 6) kann es auch gelingen, durch den Nachweis der Beeinflussung sequentieller Elemente Rückschlüsse auf die Dichtheit der 2. Barriere zu ziehen.
Wenn beispielsweise der Fehlerzustand des sequentiellen Elementes durch die Barriere 3.2 mit ausreichend hoher Wahrscheinlichkeit erkannt wird, kann deren Meldesignal ausgewertet werden.
Auch können die sensibelsten sequentiellen Elemente als Sensoren genutzt werden, deren Zustand rückwirkungsfrei nach außen signalisiert werden kann. Die sequentiellen Elemente höchster Sensibilität können im Rahmen der Entwicklungsprüfungen bestimmt werden. Sensibilitätsunterschiede sind auch bei gleicher Schaltkreisfamilie in Abhängigkeit vom Schaltkreisumfeld und damit von den unterschiedlichen Angriffsmöglichkeiten der eingekoppelten Störimpulsspannung u^* zu erwarten. Aber auch günstige Betriebsbedingungen (vgl. Bild 3), günstige Algorithmusbedingungen und günstige Torbedingungen können bei der Auswahl berücksichtigt werden. Grundsätzlich lassen sich diese günstigen Bedingungen aber auch mit Hilfe spezieller Prüfsoftware und/oder Hardware schaffen. Damit ergeben sich Voraussetzungen für den Übergang zur direkten Prüfung.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Auf der Grundlage der beschriebenen Modelle werden die Prüfstrategien ausgewählt und bewertet. Die dazu notwendigen speziellen Prüfbedingungen können ermittelt werden. Dabei kann festgestellt werden:

• Die Durchlässigkeit der parasitären Koppelkapazitäten und die Empfindlichkeit der TTL-Technik bezüglich Steilheit bzw. Impulsdauer ergeben für Betrieb und Prüfung gleichermaßen einen kritischen Übereinstimmungsbereich.
• Die Scheitelwertverteilungsfunktion der Störimpulsspannung u_{st} kann mit Störgeneratoren mit reproduzierbaren Prüfstörgrößen als Einpunktverteilung gewählt werden, so daß die Dichteverteilung der eingekoppelten Störspannung u^* bereits die Wirkung der 2. Barriere repräsentiert.
• Die Durchrechnung der Zeitbedingungen (Bild 5a) ermöglicht die Wahl einer repräsentativen Prüfdauer und die Entscheidung, ob spezielle Prüfsoftware und spezielle Hardwarebedingungen notwendig sind. Bei Nichtbeachtung dieser Bedingungen, die aus Zykluszeiten für den Arbeitsablauf sequentieller Elemente, für den Durchlauf von Algorithmen und für die Bedingungen von Toren sowie aus den zeitlichen Abständen zwischen den Prüfimpulsen resultieren, können sich beachtliche Fehleinschätzungen bei der Auswertung von EMV-Prüfungen ergeben.
• Eine direkte Prüfung der 2. Barriere läßt gegenüber der indirekten Prüfung Vorteile erwarten. Voraussetzung hierfür ist die Entwicklung rückwirkungsfreier EMV-Sensoren, mit denen die eingekoppelte Störspannung u^* im Schaltungsinneren nachweisbar wird.

Anhang 1: Beispiel für die Wirkung der 2. Barriere

Wesentliche Wirkungen von Maßnahmen zur 2. Barriere sind darauf gerichtet, daß

a) z.B. durch Schirme die Koppelkapazität C_k und damit der theoretische Maximalwert

$$u^*_{max} = 4\,k\,L_i\,C_k \qquad (12)$$

reduziert wird,

b) z.B. durch Ableitkondensatoren C_a und Längsdrosseln L_a die Einschwingfrequenz

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{(L_i + L_a)\,(C_k + C_a)}} \qquad (13)$$

wesentlich verringert wird, so daß während der Anstiegsdauer einer Störimpulsspannung ($t < t_{max}$) nur ein verzögertes und damit unbedeutendes Anschwingen der Spannung u^* über dem Leiterzug erfolgen kann.

Beispielsweise erhält man für $k = 10\ \mathrm{V/(ns)^2}$, $t_{max} = 10$ ns, $L_i = 100$ nH, $C_{p1} = 10$ pF, $C_{p2} = 15$ pF nach (4)

$$C_k = \frac{10\ \mathrm{pF} \cdot 15\ \mathrm{pF}}{25\ \mathrm{pF}} = 6\ \mathrm{pF}$$

und damit nach (12)

$$u^*_{max} = 4 \cdot 10\ \frac{\mathrm{V}}{(\mathrm{ns})^2} \cdot 100\ \mathrm{nH} \cdot 6\ \mathrm{pF},$$

$$u^*_{max} = 24\ \mathrm{V},$$

der ohne EMV-Maßnahmen bei einer Schwingungsdauer

$$T = \frac{2\,\pi}{\omega}, \qquad (14)$$

$$T = 2\,\pi\,\sqrt{100\ \mathrm{nH} \cdot 6\ \mathrm{pF}} = 0{,}4\,\pi\,\sqrt{3}\,\sqrt{5}\ \mathrm{ns},$$

$$T \approx 5\ \mathrm{ns} < t_{max}$$

innerhalb der ersten 10 ns bereits erreicht wird.
Durch einen Ableitkondensator von $C_a = 1$ nF wird die Spannung nach (3) während der ersten 10 ns nur auf einen Wert

$$u^*\,(t = t_{max}) \approx \frac{u_{max}}{2}\,[1 - \cos\omega\,t_{max}], \qquad (15)$$

$$u^*\,(t = 10\ \mathrm{ns}) \approx 12\ \mathrm{V}\left[1 - \cos\frac{10\ \mathrm{ns}}{\sqrt{(1000 + 6)\ \mathrm{pF} \cdot 100\ \mathrm{nH}}}\right],$$

$$u^*\,(t = 10\ \mathrm{ns}) \approx 12\ \mathrm{V}\,[1 - \cos 1],$$

$$u^*\,(t = 10\ \mathrm{ns}) \approx 5{,}5\ \mathrm{V}$$

ansteigen.
Eine zusätzliche Längsdrossel $L_a = 10\ \mu$H reduziert die Spannung bereits auf den unkritischen Wert

$$u^*\,(t = 10\ \mathrm{ns}) \approx 12\ \mathrm{V}\left[1 - \cos\frac{10\ \mathrm{ns}}{\sqrt{(1000 + 6)\ \mathrm{pF} \cdot (10 + 0{,}1)\ \mu\mathrm{H}}}\right],$$

$$u^*\,(t = 10\ \mathrm{ns}) \approx 12\ \mathrm{V}\,[1 - \cos 0{,}1],$$

$$u^*\,(t = 10\ \mathrm{ns}) \approx 0{,}06\ \mathrm{V}.$$

Anhang 2: Beispiel für die Repräsentanz der Prüfdauer

Für die Funktion „Steuerung" einer mikroelektronischen Leittechnik betrage die Funktionsdauer 200 ms. Unter Einbeziehung aller übrigen Funktionen dieser Leittechnik läßt sich eine ständig wiederholte Abarbeitung der Steuerung mit einer Zykluszeit von 500 ms manipulieren. Eine EMV-Prüfung mit 100-ns-Impulsen im 1-s-Abstand ergibt bei einer Prüfdauer von 60 s eine Wahrscheinlichkeit [Gl. (5)] von

$$p = 1 - \left[1 - \frac{0{,}2\ \mathrm{s}}{0{,}5\ \mathrm{s}}\right]^{\frac{60}{1}} \cdot \left[1 - \frac{0{,}1\ \mu\mathrm{s}}{10^6\ \mu\mathrm{s}}\right]^{\frac{60}{0{,}5}},$$

$$p \approx 1 - 0{,}6^{60} \cdot [1 - 120 \cdot 10^{-7}],$$

$$p \approx 1$$

dafür, daß während der Prüfdauer mindestens ein Prüfimpuls während des Funktionsablaufs vorkommt.
Wird berücksichtigt, daß erst nach einer bestimmten Wirkdauer (z.B. $t_b = 20$ ns) die Störbeeinflussung des Schaltkreises erfolgt, ist der Einfluß auf das Ergebnis vernachlässigbar.
Demgegenüber erhält man für die genauere Betrachtung der kritischen Dauer während des Funktionsablaufs von $t_k = 400\ \mu$s eine Wahrscheinlichkeit [Gl. (6)] von nur

$$p \approx 1 - \left[1 - \frac{0{,}4}{0{,}5} \cdot 10^{-3}\right]^{60} \cdot [1 - 120 \cdot 10^{-7}],$$

$$p \approx 1 - [1 - 8 \cdot 10^{-4}]^{60},$$

$$p \approx 5 \cdot 10^{-2}.$$

Es wird demzufolge nicht gewährleistet, daß mindestens ein Prüfimpuls in die kritische Phase des Funktionsablaufs fällt. Das Prüfergebnis kann somit EMV vortäuschen.
Ein Übergang auf eine Wiederholfrequenz von 100 Hz ($t_a = 10$ ms) bringt noch keine wesentliche Verbesserung, da bei den insgesamt

$$n_k \approx \frac{60\ \mathrm{s}}{0{,}5\ \mathrm{s}} = 120$$

kritischen Funktionsphasen von den insgesamt

$$n_c \approx \frac{60\ \mathrm{s}}{0{,}01\ \mathrm{s}} = 6000$$

Prüfimpulse nur durchschnittlich

$$n = (400\ \mu\mathrm{s} + 100\ \mathrm{ns} - 40\ \mathrm{ns})\ \frac{60\ \mathrm{s}}{0{,}5\ \mathrm{s} \cdot 0{,}01\ \mathrm{s}},$$

$$n \approx 5$$

Prüfimpulse die EMV während der kritischen Phase des Funktionsablaufs testen. Die Wirkung von EMV-Maßnahmen ist somit nicht zuverlässig einschätzbar.
Durch Verändern der Funktionsdauer während der Prüfung auf kleiner 500 µs konnte mit Hilfe spezieller Prüfsoftware die Zykluszeit auf 1000 µs reduziert werden.
Nunmehr wurde erreicht, daß von den 6000 Prüfimpulsen während der Prüfdauer von 60 s mit den

$$n_k = \frac{60\ \mathrm{s}}{0{,}001\ \mathrm{s}} = 6 \cdot 10^4$$

kritischen Funktionsphasen durchschnittlich

$$n \approx (400{,}1\ \mu\mathrm{s})\ \frac{60\ \mathrm{s}}{0{,}001\ \mathrm{s} \cdot 0{,}01\ \mathrm{s}},$$

$$n \approx 2400$$

Prüfimpulse die EMV testen. Damit kann anhand des Prüfergebnisses die Wirkung von EMV-Maßnahmen eingeschätzt werden.

Literatur

[1] IEC-Publikation 255-4 (1976). Single input energizing quantity measuring relays with dependent specified time
[2] ST RGW 4702-84, Universelles internationales System zur automatischen Überwachung, Regelung und Steuerung (URS). Erzeugnisse des URS. Allgemeine Prüfverfahren für die Beständigkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen
[3] IEC-Publikation 801-1/2 und 3 (1984). Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment. Part 1: General introduction. Part 2: Electrostatic discharge requirements. Part 3: Radiated electromagnetic field requierements
[4] IEC-Entwurf 65 (Secr.) 96 und 99, jan. 1985. Electromagnetic compatibility for industrial process measurement and control equipment. Part 4: Electrical fast transients requirements bzw. Part 5: Surge voltage immunity requirements

Anforderungen an moderne Hochspannungsschaltgeräte – Internationaler Stand und Entwicklungstendenzen[1)]

H. Ambrosch, KDT; Dresden

1. Allgemeine Entwicklung bei Leistungsschaltern

Bei Leistungsschaltern für Hochspannungsnetze vollzieht sich gegenwärtig weltweit ein Übergang von ölarmen und Druckluftschaltern zum durchgängigen Einsatz von SF_6-Schaltern. Im Bereich der Mittelspannungen werden neben den ölarmen Schaltern in zunehmendem Maße SF_6-Schalter und Vakuumschalter eingesetzt.

Der Schaltlichtbogen bleibt dabei sowohl bei SF_6-Schaltern (Hochdruckplasma) als auch bei Vakuumschaltern (Niederdruck-Metalldampfplasma) aktives Element unter Nutzung des natürlichen Stromnulldurchgangs bei Wechselstrom (Wechselstromlöschprinzip). Die Auswirkungen des Schaltlichtbogens auf Kontaktsystem und Löscheinrichtung werden insbesondere durch verbesserte Werkstoffe und Optimierung der Konstruktionen immer besser beherrscht.

Der Einsatz von Thyristoren als Leistungsschalter kommt entgegen noch vor einigen Jahren gehegter Hoffnungen wegen der relativ geringen Sperrspannung und den hohen Verlusten in Durchlaßrichtung der heute zur Verfügung stehenden Bauelemente sowie der fehlenden Potentialtrennung für Mittel- und Hochspannungsnetze vorläufig nicht in Betracht. Die Nutzung der Widerstandserhöhung beim Übergang vom supraleitenden (eingeschaltet) in den normalleitenden Zustand (ausgeschaltet) ist für das Schalten großer Ströme trotz der Fortschritte bei der Entwicklung von supraleitenden Werkstoffen in absehbarer Zeit ebenfalls nicht zu erwarten.

2. Allgemeine Entwicklung bei Trenn- und Erdungsschaltern

Die Aufgaben der Trennschalter, in der Regel mit einseitig oder beidseitig angebautem Erdungsschalter, werden sich nicht prinzipiell ändern. Sie dienen der stromlosen Vorwahl der zu verbindenden Stromwege, zum Kommutieren von Strömen bei nur geringen Differenzspannungen zwischen den Kontakten (z.B. bei unterbrechungsfreiem Sammelschienenwechsel) und natürlich dem Freischalten von Betriebsmitteln. Ihre Bauform bestimmt ganz wesentlich den konstruktiven Aufbau der Schaltanlagen.

Anlagenausdehnung und Aufbau (offen oder gekapselt), Größe der Koppelkapazität über die Steuerkondensatoren der Leistungsschalter sowie Länge und Verdrillung der Freileitungen bestimmen mit der Betriebsspannung die Höhe der durch Trenn- bzw. Erdungsschalter zu schaltenden kapazitiven Ströme. Durch den zunehmenden Einsatz von mikroelektronischen Bauelementen in unmittelbarer Nähe der Trenn- und Erdungsschalter, einschließlich deren Zuleitungen und Erdverbindungen, werden an das Schaltverhalten der Trenn- und Erdungsschalter in Zukunft definierte Forderungen gestellt und daraus abgeleitete Prüfungen notwendig. Für das Einbeziehen der Trennschalter in automatisierte Schaltfolgen, z.B. Durchführen eines unterbrechungsfreien Sammelschienenwechsels, müssen Forderungen an die Schaltzeiten, insbesondere an deren Toleranzen im zulässigen Bereich der Temperaturen, der Hilfsspannung usw. abgeleitet werden.

Schnellschaltende Erdungsschalter, sog. Schnellerder oder Kurzschließer, werden in zunehmendem Maße in die Lichtbogenschutzkonzeption für gekapselte Schaltanlagen einbezogen. Der Einsatz von Kurzschließern in offenen luftisolierten 110-kV-Schaltanlagen in Kombination mit Trenn- oder Lasttrennschaltern, einschließlich der dazugehörigen Automatik, zur Einsparung von Leistungsschaltern hat sich nicht bewährt. Für diese Aufgabe werden national und international dafür optimierte, einfache Leistungsschalter eingesetzt. Im Bereich der Mittelspannungen hat sich die Kombination Lasttrennschalter-Sicherungen einen breiten Anwendungsbereich geschaffen. Bei Erhöhung des Automatisierungsgrades auch in diesen Netzen sollte sich der Einsatz preiswerter Leistungsschalter oder sog. Recloser, d.h. spezieller Last- oder Leistungsschalter, für bestimmte Schaltzyklen, die ihre Antriebsenergie dem Hochspannungsnetz direkt entnehmen, in größerem Umfang durchsetzen.

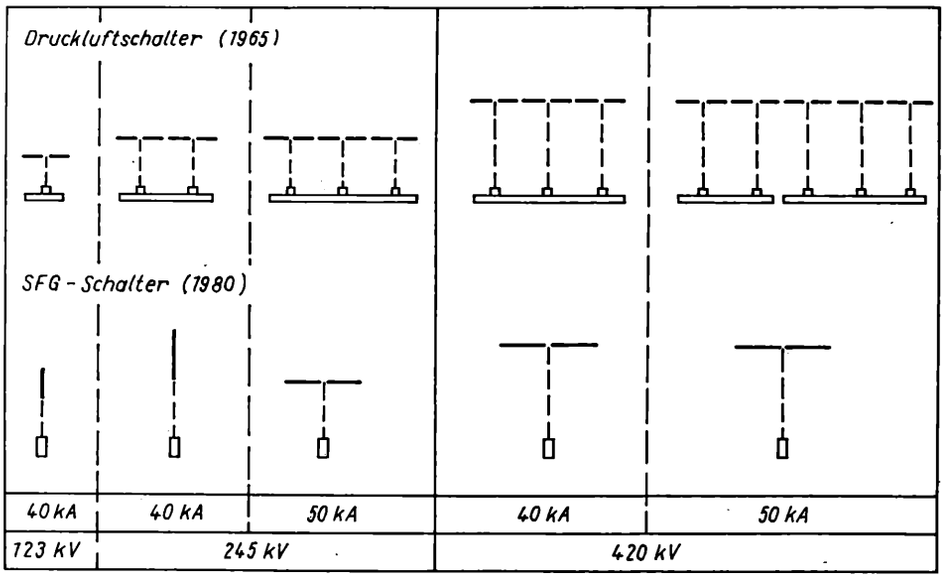


Bild 1. Entwicklung der Hochspannungsleistungsschalter 123 bis 420 kV; 40 und 50 kA seit 1965 [1] [2]

Prof. Dr. sc. techn. *Helmut Ambrosch* ist ordentlicher Professor an der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik und Vorsitzender des FUA 13.3 „Hochspannungsschaltgeräte" im Fachverband Elektrotechnik der Kammer der Technik.

[1)] Vortrag gehalten auf dem KDT-Kolloquium „Hochspannungsschaltgeräte" an der TH Zittau im November 1988

[5] *Hilpmann, H.:* Beitrag zur Prüfung der Fremdstörfestigkeit elektronischer Automatisierungsgeräte. Dissertation TU Dresden 1986

[6] Netz-Störsimulatoren, Hochspannungsprüfgeräte, Prospektmaterial der Firma Schaffner

[7] *Baumann, M.:* Prüfgeneratoren zur Simulation von breitbandigen Störgrößen. Bull. SEV/VSE 75 (1984) 7, S. 2–8

[8] *Bauer, H.; Dreßler, D.; Czybik, H.-P.; Ambrosch, H.:* Betriebsführung von Schaltanlagen bei Nutzung von Mikrorechnern und Lichtwellenleitern. Konf. „Automatisierung und Steuerung der Verteilungsnetze II". Tabor, ČSSR (12. bis 14. Juni 1984) Bd. I, S. 71–80

[9] *Bauer, H.:* Strategie der funktionellen Realisierung der Prozeßleittechnik für Umspannwerke unter besonderer Berücksichtigung der Zuverlässigkeit. 11. Wiss. Konf. der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden 1987, Bd. E, S. 5–8

[10] *Bauer, H.:* Zur Berechnung der Gefährdungen infolge teilweiser Gleichzeitigkeit von Fehler und Bereitschaft. ELEKTRIE, Berlin 32 (1978) 5, S. 234–240

[11] *Bauer, H.; Langer, G.:* Erhöhung der Zuverlässigkeit einer modernen Prozeßleittechnik für Umspannwerke durch Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit. Wiss. Z. der TU Dresden 36 (1987) 3, S. 175–181

[12] *Bauer, H.; Langer, G.:* Elektromagnetische Verträglichkeit durch Fehlererkennungs- und Fehlertoleranzprinzipien. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 1, S. 28–31

[13] *Bauer, H.; Langer, G.:* Zur Vorbereitung und Auswertung von EMV-Prüfungen bei der Erzeugnisentwicklung. 11. Wiss. Konf. der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden 1987, Bd. A, S. 11–14

[14] *Bauer, H.:* Isolationsbemessung auf statistischer Grundlage. das verbundnetz 14 (1978) 29/30, S. 737–742

[15] *Habiger, E.; Winkler, G.:* Quantifizierung und Koordinierung der elektromagnetischen Verträglichkeit bei elektronischen Automatisierungsgeräten. 11. Wiss. Konf. der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden (1987), Bd. A, S. 5–7

EA 5953

3. Anforderungen des Netzbetriebes an Hochspannungsschalter

3.1. Elektrotechnische Parameter

Für Standardschaltgeräte haben sich in den letzten 15 Jahren die elektrotechnischen Parameter U_n, I_n, I_{an} praktisch nicht verändert (Bild 1). Durch netztechnische Maßnahmen werden insbesondere die Kurzschlußstrombeanspruchungen auf 25 kA in 123 kV-Netzen und auf 50 kA in 245- und 420-kV-Netzen begrenzt. Nur in wenigen Sonderfällen, d.h. in geringen Stückzahlen, werden in Zukunft Leistungsschalter für höhere Ausschaltströme, 63 kA und darüber, sowie für höhere Nennspannungen, z.B. 750 kV, notwendig [3].

Die Impulse für die Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Hochspannungsleistungsschalter werden, neben der Rationalisierung ihrer Fertigung, aus der Sicht der Betreiber in der Erhöhung der Forderungen in bezug auf Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, dem Verhalten in Havariesituationen sowie der Anpassung an unterschiedliche Schaltanlagenkonzeptionen (offene und gekapselte Anlagen) gesehen. Bei Freiluftschaltanlagen spielt die bessere Anpassung an die Umweltbelastungen einschließlich der daraus resultierenden Reinigungstechnologien, z.B. dem Abspritzen, ohne oder unter Spannung, eine entscheidende Rolle. Bei gekapselten, — insbesondere bei hermetisch gekapselten — Schaltanlagen mit SF_6-Isolierung, wird die Einordnung in die Konzeption der hermetischen Kapselung gefordert [4].

Bei den Schaltzeiten sind derzeit die Reserven bei den Kommandozeiten des Schutzes noch größer als bei den Ausschaltzeiten der Leistungsschalter. Eine Verkürzung der Fehlerdauer bleibt wegen der mit dem Fehlerstrom verbundenen Belastungen der Geräte und Anlagen, der Gefährdungen von Mensch und Tier und der potentiellen Brandgefahr an der Fehlerstelle selbstverständlich ständiges Entwicklungsziel.

3.2. Zuverlässigkeit

3.2.1. Gerätezuverlässigkeit der Leistungsschalter

Bei der Gerätezuverlässigkeit spielen Kompliziertheit des elektrischen und mechanischen Aufbaus, die technische und technologische Reife einer Konstruktion sowie die Qualitätssicherung bei Produktion, Transport, Lagerung, Montage und Betriebsführung (Instandhaltung) eine entscheidende Rolle.

Von der CIGRE, SC 13, WG 13.06 wurden 1981 Angaben zur Ausfallrate von Hochspannungsleistungsschaltern gemacht [5]. Es ist das Ergebnis einer Umfrage in 22 Ländern, wobei die jeweils höchsten und niedrigsten Angaben nicht berücksichtigt wurden (Tafel 1).

Die Ausfallrate wird bestimmt:

$$\lambda = \frac{\text{Anzahl der Fehler}}{\text{Anzahl der Schalter} \times \text{Beobachtungszeit}} .$$

Für ereignisorientierte Betrachtungen muß die Ausfallrate durch die Anzahl der Schaltspiele je Jahr geteilt werden:

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{n} \text{ mit } n \text{ Anzahl der Schaltspiele/Jahr.}$$

Für SF_6-Leistungsschalter aus den 80er Jahren werden in den Statistiken der Hersteller für den Bereich 123 bis 420 kV Ausfallraten kleiner 0,01 a^{-1} ausgewiesen.

Der erreichte Fortschritt ist aus den Bildern 1 und 2 leicht ablesbar. Ein 430-kV-Druckluftschalter für 50 kA aus dem Jahr 1965 besteht praktisch aus 5 getrennt angesteuerten Leistungsschaltern je Pol (Bild 1) (wobei sich diese 5 Schalter durch die Verbindung zum gemeinsamen Druckluftbehälter noch gegenseitig beeinflussen können). Jeder der 5 Teilschalter besteht aus 2 Leistungsschaltstrecken und 2 Spannungsschaltstrecken (Bild 2), die in genau festgelegter Reihenfolge nach Perioden ohne Schalthandlung von max. einem Jahr mit Toleranzen kleiner 5 ms innerhalb eines Pols arbeiten müssen. Ähnliche Überlegungen können für die interne Schaltersteuerung, d.h. das Umsetzen des elektrischen Schaltkommandos in pneumatische Kommandos, bis hin zur Bewegung der Schaltstücke angestellt werden [6].

SF_6-Leistungsschalter sind durch die hervorragenden Eigenschaften von Schwefelhexafluorid für Isolierung und Lichtbogenlöschung, durch die in den letzten Jahren bessere theoretische Durchdringung der Physik der Lichtbogenlöschung, durch Fortschritte in der Porzellanindustrie, in der Hochleistungsprüftechnik usw. wesentlich einfacher aufgebaut und damit potentiell zuverlässiger als leistungsgleiche Druckluftschalter. Dafür sind völlig neue Forderungen an Werkstoffe, Dichtungen usw. entstanden.

Tafel 1. Ausfallraten und Fehlerquellen nach einer CIGRE-Analyse [5]

Nennspannung	Ausfallrate $\left[\frac{1}{a}\right]$ schwere Fehler	leichte Fehler
alle Spannungen	0,024	0,064
100 ... 200 kV	0,018	0,049
200 ... 300 kV	0,034	0,094
300 ... 500 kV	0,042	0,131
> 500 kV	0,169	0,286
	Fehlerquellen	
	schwere Fehler	leichte Fehler
Mechanisch	70,3 %	85,6 %
Hauptstrombahn	10,6 %	2,7 %
Steuerkreise	19,1 %	11,7 %

Schwere Fehler sind:
- Schalter schaltet nicht EIN/AUS auf Kommando
- Schalter schaltet EIN/AUS ohne Kommando
- Überschlag innen/außen gegen Erde
- Überschlag innen/außen über Schaltstrecke
- Durchschlag zwischen den Polen
- Fehler, die Freischaltung innerhalb von 30 min erfordern

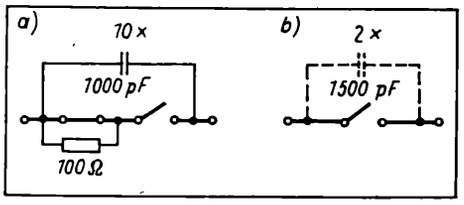


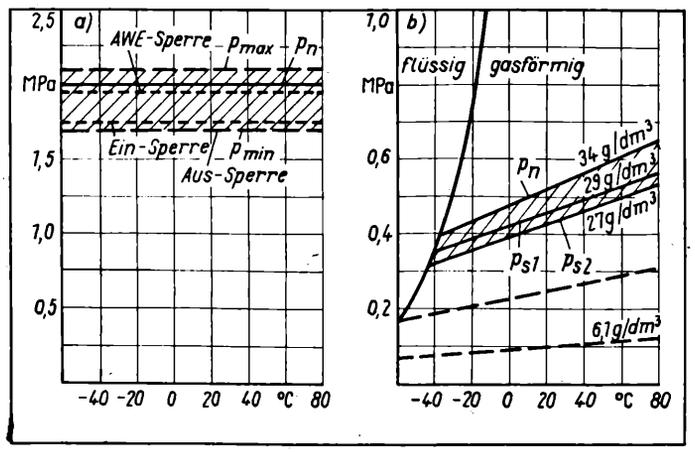
Bild 2. 420-kV-Leistungsschalter, internes Schaltbild
a) Druckluftschalter (72-kV-Elemente)
b) SF_6-Schalter auf (245-kV-Elemente)

International wurde in den letzten Jahren ein Übergang vom Druckluft- oder Drucköl antrieb zum Federspeicherantrieb vollzogen. Die Einschaltfeder wird dabei je nach Hersteller elektrisch oder hydraulisch gespannt. Dadurch wird die Ausschaltbereitschaft erhöht, d.h. diese Leistungsschalter werden im Schaltaugenblick unabhängig von der Bereitstellung von Hilfsenergie. Konsequenzen in bezug auf das Druckregime bei Druckluft- und SF_6-Schaltern sind in Bild 3 ablesbar.

3.2.2. Zuverlässigkeit in bezug auf Schaltfunktion

Unter diesem Gesichtspunkt muß neben der Gerätezuverlässigkeit für die Leistungsschalter die Zuverlässigkeit der gesamten Wir-

Bild 3 Betriebsdruckdiagramm $p = f(\vartheta)$ mit Angabe der Funktionssperren
a) Druckluftschalter (mit Druckluft-Nachfüllung), manometergesteuert
b) SF_6-Schalter (hermetisch abgeschlossen, Dichtewächter)
p_n Nenndruck
p_{s1} Signal Nachfüllen
p_{s2} Kommando Ausschalten und Sperren



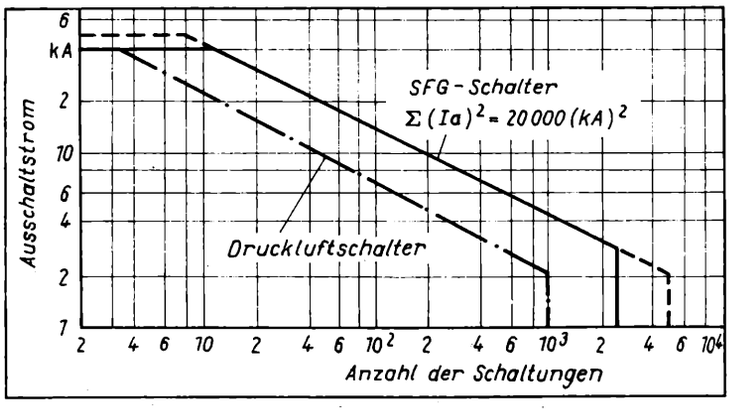
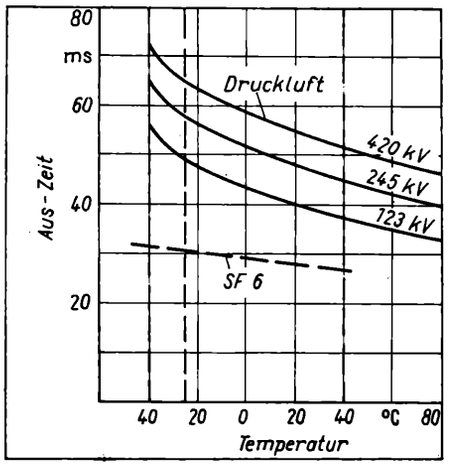


Bild 4. Zulässige Anzahl von Ausschaltungen bis zur Revision für Druckluftschalter und SF_6-Schalter

Bild 5. Einfluß der Umgebungstemperatur auf die AUS-Zeit (Ausschalt-Eigenzeit) für Druckluftschalter und SF_6-Schalter



kungskette Wandler, Schutzeinrichtung, Hilfsenergieversorgung und Leistungsschalter einschließlich der dazwischenliegenden Verbindungen zur Übertragung analoger oder binärer Signale betrachtet werden.

Beim Fehlverhalten in bezug auf die Sicherstellung einer Ausschaltung wird zwischen Fehlverhalten 1. Art (FV1), Ausschaltung ohne Netzfehler (Überfunktion); Fehlverhalten 2. Art (FV2), unselektive Ausschaltung bei Vorliegen eines Netzfehlers und Fehlverhalten 3. Art (FV3), Ausschaltversager bei Vorliegen eines Netzfehlers (Unterfunktion) unterschieden.

Zur Vermeidung eines Ausschaltversagers (FV3) wird im Übertragungsnetz, ausgehend vom Ausfallverhalten der beteiligten Baugruppen, die Ansteuerung der Leistungsschalter durch Hauptschutz und Reserveschutz bei gleichzeitiger Trennung der Hilfsenergiequellen und der Auslösespulen am Leistungsschalter realisiert.

Es ist offensichtlich, daß sich durch die Dopplung der Auslösekreise die Anzahl unnötiger Ausschaltungen (FV1 und FV2) erhöhen kann. Auch ist von großer technischer und ökonomischer Bedeutung, ob für den Haupt- und Reserveschutz das gleiche Schutzprinzip zugelassen wird, ob gleiche Zeitforderungen für die Bereitstellung des Auskommandos gestellt werden oder nicht usw.

Zur Beherrschung des elektrischen oder mechanischen Versagens eines Leistungsschalters wird in wichtigen Anlagen ein Schalterversagerschutz (Rückgreifschutz) installiert. Kriterium für die ordnungsgemäße Funktion des Leistungsschalters ist beim Ausschalten, daß der Strom nach der Ausschaltung Null sein muß (Kontrolle über sog. Minimalstromrelais). Beim Einschalten gibt es kein vergleichbar gutes Kriterium. In diesem Fall muß man sich auf die mechanisch zuverlässige Schaltstellungsanzeige verlassen. Ein Längsüberschlag oder -durchschlag mit Stromfluß, bei noch ausgeschaltetem Leistungsschalter oder wenn nur ein Teil der in Reihe geschalteten Schaltstrecken eingeschaltet ist, ist durchaus denkbar.

3.3. Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit wird durch den Zeitaufwand für Instandhaltung und Störungsbeseitigung bestimmt.

Durch die Verringerung der Lichtbogenspannung bei SF_6- und Vakuumschaltern gegenüber den Druckluftschaltern konnte die in der Löscheinrichtung umgesetzte Energie, letztlich verantwortlich für die Erosion an Schaltstücken und Löscheinrichtung spürbar verringert und damit die Anzahl der zulässigen Ausschaltungen bis zur Revision wesentlich erhöht werden.

Für SF_6-Hochspannungsschalter werden 2500 Schaltspiele ohne Revision angegeben oder ein Zeitraum von 15 bis 20 Jahre bei „normalen" Umgebungsbedingungen (Bild 4). Für Vakuumschalter im Mittelspannungsbereich werden sogar schon 100 Ausschaltungen mit I_{an} und im Nennstrombereich bis zu 40000 zulässige Schaltungen angegeben.

Bei ausreichender Konstanz der Ausschaltzeit (Bild 5) könnte man zur weiteren Verringerung der Schaltstreckenerosion auch an die Nutzung der bereits früher viel diskutierten Möglichkeit des synchronen Ausschaltens, d. h. bei minimaler Lichtbogendauer, denken.

Die Ausrüstung der Leistungsschalter und der Schutzrelais mit Zählwerken ist Stand der Technik. Damit ist die Anzahl der Schaltungen insgesamt und die Anzahl der Auslösungen durch den Schutz im Bereich $I_n < I_a < I_{an}$ bekannt. Mit sog. Ausschaltstromzählern kann die Summe der Quadrate der Ausschaltströme (Bild 4):

$$\Sigma I_a^2$$

oder noch besser die Summe der Lichtbogenenergie (Schaltarbeit)

$$\Sigma I_a^2 \cdot t_{LB}$$

ermittelt und aktuell angezeigt werden.

Die Weiterentwicklung der Diagnose kann auch bei HS-Leistungsschaltern einen wichtigen Beitrag zur Zustandsbewertung und Prognose der Restlebensdauer leisten [8] [9]. Die Instandhaltung könnte zustandsabhängig festgelegt und kritische Veränderungen

		Fertigung einschließlich Zwischenprüfungen	Transport Lagerung Montage	Rechtsträgerwechsel	Netzbetrieb einschließlich Instandhaltung	
1	2	3	4		5	6
Entwicklungsprüfungen	Typprüfung	Stückprüfung	Inbetriebnahme (Wiederinbetriebnahme)		Diagnose	Prüfung nach Aussonderung bzw. Störung
Labor	Prüffeld neutral	Prüffeld Hersteller	vor Ort		vor Ort während des Betriebes bzw. nach Abschaltung ohne Demontagen	vor Ort bzw. Labor
mit Verschleiß bis Zerstörung	mit Verschleiß ohne Versagen	ohne Verschleiß ohne Versagen	ohne Verschleiß ohne Versagen		ohne Verschleiß	
Parameterbest. für rechnergestützten Entwurf Erprobung konstr. Lösungen Optimierung	Nachweis der technischen Parameter Vorgaben für Spalten 3, 4, 5	Auslese Vorgaben für Spalten 4, 5	Nachweis der Gesamtfunktion Vorgaben für Spalte 5		Bestimmung Augenblickszustand Restlebensdauer	Grenzwerte für Diagnose Schlußfolgerungen für Neu- und Weiterentwicklungen (Lebensdauerverhalten)

Tafel 2. Einordnung der Diagnose in Prüfverfahren während des Lebensweges eines elektrotechnischen Betriebsmittels

können rechtzeitig vor dem Versagen erkannt werden. Im Rahmen dieser Übersicht soll nur auf die dazu erforderliche enge Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Betreiber hingewiesen werden, da Vorgaben bzw. Grenzwerte für viele Diagnoseverfahren nur aus der Typ-, Stück- oder Inbetriebnahmeprüfung abgeleitet werden können oder sich aus der Auswertung von Störungen ergeben. Andererseits lassen sich aus dem Störungsgeschehen und aus der sorgfältigen Untersuchung nach langjährigem Netzbetrieb auszusondernder Betriebsmittel Schlußfolgerungen für Neu- und Weiterentwicklungen, insbesondere zum Lebensdauerverhalten ableiten (Tafel 2).

3.4. Verhalten in Havariesituationen

3.4.1. Ausfall der Steuerspannung

Bei Ausfall der Steuerspannung wird in wichtigen Anlagen (selbst bei Vorhandensein von 2 Batterien) gefordert, daß Leistungsschalter zumindest noch ausgeschaltet werden können (Handnotausschaltung). Das wird bei einigen Konstruktionen durch eine Kondensatorentladung über die Ausschaltspule (n) oder beim Federspeicherantrieb in einfacher Weise durch das mechanische Betätigen der Ausschaltklinke im Antrieb realisiert.

3.4.2. Verhalten bei Druckabfall des Isoliermittels

Das Ausschaltvermögen der Druckluft- und SF_6-Schalter ist druckabhängig. Beim Druckluftschalter wird die Schalt-, Spül- und Leckluft durch automatische Nachfüllung ergänzt. Beim SF_6-Schalter wird durch hermetischen Abschluß ein Gasverlust kleiner $1\% \cdot a^{-1}$ garantiert. Der Druck im Inneren der Schaltkammer ist dabei temperaturabhängig (Bild 3). Bei Gasverlust tritt ein Dichteabfall auf. Werden die jeweiligen unteren Grenzwerte (Druck bzw. Dichte) unterschritten, wird je nach Schutzkonzeption entweder das Ausschalten gesperrt (Aus-Sperre) oder der Leistungsschalter ausgeschaltet und die Einschaltung gesperrt.

Das Isoliervermögen im ausgeschalteten Zustand setzt bei Druckluftschaltern nach dem Druckkammerprinzip und bei SF_6-Schaltern die Aufrechterhaltung eines entsprechenden Überdrucks des Isoliermittels voraus. Tritt ein Leck auf, kann die elektrische Festigkeit soweit absinken, daß je nach anstehender Spannung die Schaltstrecke (n) durchschlägt und der Schalter bei Ausschaltstellung der Kontaktstücke über einen Lichtbogen einschaltet.

Ein solcher Längsfehler wird, da er in der Regel keinen Kurzschlußstrom zur Folge hat, vom üblichen Kurzschlußschutz nicht erfaßt. Während bei Freistrahlschaltern durch den in freier Luft brennenden Lichtbogen nach wenigen Halbwellen ein Fehler gegen Erde oder ein mehrpoliger Fehler entstand, kann ein solcher Längslichtbogen in der Kammer eines Druckkammerschalters bei Strömen, die kleiner als der Nennstrom sind, relativ lange brennen (Minutenbereich), ehe ein Kurzschluß eingeleitet wird.

SF_6-Leistungsschalter haben den Vorzug, daß das Isoliervermögen in der SF_6-gefüllten Schaltkammer selbst bei Atmosphärendruck wesentlich höher als bei Druckluftschaltern ist und in der Regel mehr als das $1{,}3 \cdot U_n/\sqrt{3}$fache beträgt. Der Grenzdruck für das Isoliervermögen der ausgeschalteten Leistungsschalter, z. B. in bezug auf die genannte Spannungsbeanspruchung, sollte in Betriebsdruckdiagrammen (Bild 3) ausgewiesen werden!

3.4.3. Verhalten bei extremer Verschmutzung

Das Verhalten von Isolierungen unter Fremdschichtbedingungen ist in den vergangenen 20 Jahren intensiv untersucht worden. Eine zusammenfassende Darstellung zur Physik des Fremdschichtüberschlags wird in [10] gegeben. Empfehlungen der IEC zu Schirmformen und zur Auswahl der spezifischen Kriechüberschlagstrecke wurde 1986 in der Publ. 815 [11] veröffentlicht.

Überlegungen zur Bewertung der äußeren Isolierung von Hochspannungsschaltgeräten und zur Anpassung der Kriechüberschlag-Kennlinien, insbesondere der Schaltstreckenisolierung, an deren elektrische und Umweltbelastungen wurden in [12] und [13] veröffentlicht. In TGL 8678/03, Entw. Juni 1987 [14] wird zwar generell die Anpassung der Freiluftisolierungen an die Umweltbelastung nach der jeweiligen Kriechüberschlag-Kennlinie in Form der Festlegung einer Fremdschicht-Nennstehwechselspannung, gefordert, aber die Spezifik der elektrischen Belastung der Schaltstreckenisolierung sowie die zur Erdisolierung stark veränderte Elektrodenform usw. werden nicht berücksichtigt. Von der IEC, SC 17A [15] wird der Vorschlag gemacht, Schaltstrecke und Erdisolierung mit gleicher Kriechstrecke auszustatten. Für Leistungsschalter, mit denen synchronisiert wird, wird ein um 15% höherer Wert vorgeschlagen (Bild 6).

Die Erhöhung der Fremdschichtüberschlagspannung bei vorgegebener Schichtleitfähigkeit kann durch Verlängerung der Kriechüberschlagstrecke erreicht werden. Das macht für die Erdisolierung durch deren Erhöhung konstruktiv in der Regel keine Schwierigkeiten. Für die Schaltstreckenisolierung kann bei gleicher Konstruktion durch den Übergang von der Normalschirmform zu Wechselschirmen eine Verlängerung der Kriechüberschlagsstrecken von etwa 15% erreicht werden. Ist das nicht ausreichend, bleibt nur der Weg, zusätzliche Schaltstrecken zu verwenden, also zumindest was die Schaltstrecke betrifft, einen Leistungsschalter der nächsthöheren Betriebsspannung oder bei gleicher Betriebsspannung für größeren Ausschaltstrom auszuwählen (Bild 1).

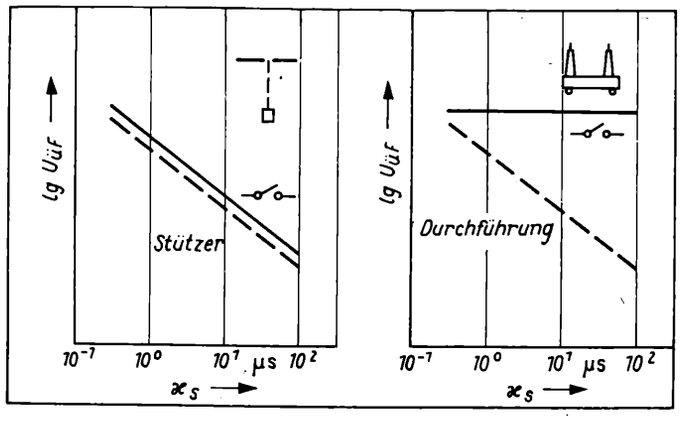


Bild 6. Kriechüberschlagkennlinien für Leistungsschalterisolierungen
a) offene Bauweise
b) gekapselte Bauweise

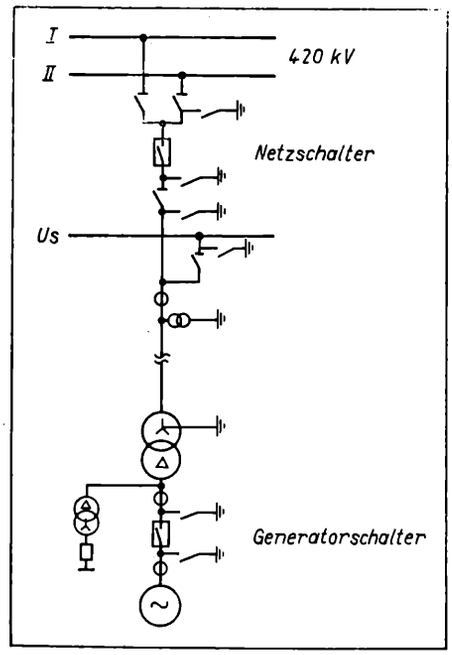
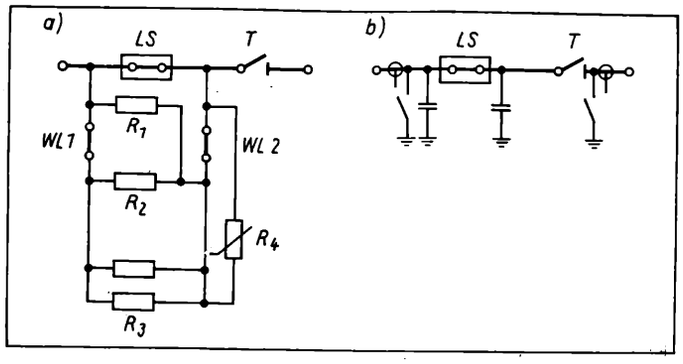


Bild 7. Anschaltung eines Kraftwerksblockes großer Leistung an einen 420-kV-Netzknotenpunkt (Beispiel)

Bild 8. Generatorleistungsschalter, internes Schaltbild
a) Druckluftschalter 24 kV; 17000 A; 120 kA
b) SF_6-Schalter 24 kV; 10000 A; 100 kA

LS	Leistungsschaltstrecke
T	Trenner
WL 1, 2	Hilfsschalter
R1, R2, R3	Widerstände niederohmig
R4	Widerstand hochohmig



Bei Leistungsschaltern in gekapselter Bauweise (dead-tank-typen) wird nur die Erdisolierung durch Fremdschichten beeinflußt, die Schaltstreckenisolierung dagegen nicht (Bild 6). In extremen Fällen wäre also an Leistungsschalter in dieser Bauweise zu denken, wenn man nicht generell den Einsatz SF_6-isolierter Schaltanlagen bevorzugt.

4. Spezifische Anforderungen an Generatorleistungsschalter

Generatorleistungsschalter sind speziell an die Leistungsparameter großer Kraftwerksgeneratoren und an das Betriebsregime im Kraftwerksprozeß angepaßte Leistungsschalter zwischen Generator und Blocktransformator (Bild 7). Sie werden konstruktiv in die einpolig gekapselte Generatorausleitung eingeordnet und haben in vielen Fällen eine Zwangskühlung.
Für einen 500-MW-Block (600 MVA) werden z. B. folgende elektrische Parameter gefordert:

$U_n = 24\,\text{kV}$,

$I_n = 17000\,\text{A}$,

$I_{an} = 120\,\text{kA}$.

Die Anzahl der An- und Abfahrprozesse (Schaltspiele) beträgt etwa 30 bis 50 je Jahr.
Jeder Einschaltung geht ein Synchronisiervorgang mit entsprechender Spannungsbeanspruchung der Schaltstrecke voraus. Einschaltungen ohne Einschaltkommando oder durch Lichtbogenüberschlag in der Schaltstrecke sind außerordentlich gefährlich und müssen mit hoher Zuverlässigkeit vermieden werden. Daher wird gefordert, daß selbst bei Druckverlust des Isoliermediums über der Schaltstrecke der 1,5fache Wert der Spannung bei Phasenopposition noch beherrscht wird. Konstruktiv wird das bei allen Generatorleistungsschaltern durch einen in den Schalter integrierten schnellschaltenden Trenner realisiert, dessen Isoliermittel die Luft der Generatorausleitung ist (Bild 8).
Die hohe Anstiegssteilheit der unbeeinflußten Einschwingspannung, die je nach Fehlerort (generatorgespeister oder netzgespeister Kurzschluß) 2,2 bis 6 kV/µs betragen kann, wird entweder durch mehrstufiges Ausschalten, d. h. über entsprechend abgestimmte Widerstände, oder, bei SF_6-Schaltern, durch Kondensatoren wirksam verringert (Bild 8). Mit ohmschen Widerständen wird außerdem das Abklingen des Gleichstromgliedes bei asymmetrisch verlagerten Strömen wirksam beeinflußt und damit der Gefahr zeitweilig ausbleibender Nulldurchgänge begegnet.
Steht kein Generatorleistungsschalter zur Verfügung, müssen die kraftwerksspezifischen Forderungen (Synchronisieren, Verhalten bei Druckabfall des Isoliermittels, Schalthäufigkeit usw.) auf den vorgelagerten Hochspannungsleistungsschalter übertragen werden.

Literatur

[1] Druckluft Hochleistungsschalter Typenreihen D3AF 7/D3AF 8. Prospekt VEB Transformatorenwerk Berlin, Ausgabe 1984
[2] SF_6-Leistungsschalter 72,5 bis 420 kV, Typenreihe HGF 100 für Freiluftaufstellung. Prospekt Sprecher Energie 42 B1 A, Ausgabe 6.86
[3] *Stegemann, G.:* Wahrscheinlichkeitsorientierte Methoden zur Ermittlung und Bewertung von Kurzschlußstrombeanspruchungen in Elektroenergiesystemen. Diss. B, IH Zittau (1987)
[4] *Ambrosch, H.:* Aktuelle Probleme der Weiterentwicklung von Hochspannungsschaltgeräten aus Sicht der Betreiber von Elektroenergieanlagen. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 1, S. 3–7
[5] *Mazza, G.; Michaca, R.; Slameka, E.:* The first international enquiry on circuit-breaker failures and defects in service. Electra (1981) 79, S. 21–91
[6] *Ambrosch, H.:* Forderungen an die mechanische Funktion von Hochspannungs-Schaltgeräten. Wiss. Z. der TH Ilmenau 28 (1982) 3, S. 125–137
[7] *Rothe, K.:* Ermittlung und Beeinflussung der Betriebszuverlässigkeit elektrotechnischer Schutzsysteme. Diss. B, TU Dresden, Sektion Elektrotechnik (1981)
[8] *Stokes, A. D.; Timbs, L.:* Ciruit-breakers diagnostics. CIGRE (1988) 13-03, S. 1–8
[9] *Noack, F.; Gärtner, J.; Heider, T.; Schwarz, J.:* Computer aided diagnostic system for high-voltage circuit-breakers. CIGRE (1988) 13–10, S. 1–6
[10] *Böhme, H.; Pilling, J.; Streubel, H.:* Zur Interpretation der Kriechüberschlag-Kennlinien von Freiluftisolatoren. ELEKTRIE, Berlin 33 (1979) 12, S. 630–632
[11] IEC-Publ. 815 (1986) Leitfaden für die Auswahl von Isolatoren in bezug auf Verschmutzungsbedingungen. Seite 1 bis 40
[12] *Ambrosch, H.:* Beitrag zur Verbesserung des Betriebsverhaltens der Isolation von Hochspannungs-Druckluftschaltern. Diss. A, TU Dresden (1964)
[13] *Schulze, H.:* Abstufung der Isolation an den Leistungsschaltern hoher Spannungen – ein Vorschlag zu ihrer weiteren Verbesserung. Elektrizitätswirtschaft 64 (1965) 4, S. 87/88
[14] TGL 8678/01 bis 03/ Entw. Juni 87: Freiluftisolierungen unter Fremdschichteinfluß in elektrotechnischen Anlagen über 1 kV Wechselspannung
[15] IEC-Dok. 17A (Zentralbüro) 208 (Mai 1988) Vorschlag zur Verbesserung der IEC-Publ. 815 in bezug auf die Kriechüberschlagstrecke für Isolatoren über die offene Schaltstrecke von Leistungs- und Lastschaltern, S. 1 bis 3

EA 5963

Belastungsmodelle für öffentliche Verteilungsnetze

L. Bochanky, KDT; Dresden

1. Übersicht

Für viele Entscheidungen in der Planung und Betriebsführung der Netze sind Kenntnisse über die Zeitverläufe (Ganglinien) der Betriebsströme erforderlich. Zur Abbildung dieser Verläufe dienen Belastungsmodelle.
Es ist zweckmäßig, für die Belastungsmodelle vier Hierarchieebenen entsprechend Tafel 1 zu bilden. Davon werden in diesem Aufsatz die drei Ebenen Tgl bis Jgl behandelt. Bezüglich längerfristiger Belastungsprognosen, die Gegenstand der Hierarchieebene Jhgl sind, wird auf [1], Abschn. 6.2. verwiesen.
Die Belastungsverläufe unterliegen ungewissen Einflüssen. In den Beispielen der Tafel 1 ist das durch schraffierte Bereiche angedeutet. Es ist anzustreben, diese Ungewißheitsbereiche in den Belastungsmodellen mit zu erfassen. Zu diesem Zweck wird der Belastungsverlauf üblicherweise in einen deterministischen und einen zufälligen Anteil zerlegt. Die Abbildung des deterministischen Anteils (der herkömmlichen Ganglinien) ist tabellarisch, grafisch (wie in den Beispielen der Tafel 1) oder mathematisch möglich [2]. Bei der Abbildung des zufälligen Anteils erhebt sich gegenwärtig insbesondere die Frage, welche Abbildschärfe angemessen ist. Als Basis für entsprechende Erwägungen werden zunächst in den Anschn. 2. und 3. zwei unterschiedlich abbildscharfe Modelle vorgestellt, um danach in den Abschn. 4. und 5. Bewertungen vornehmen und Schlußfolgerungen ziehen zu können.

2. Stochastische Belastungsmodelle

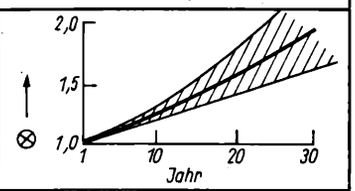
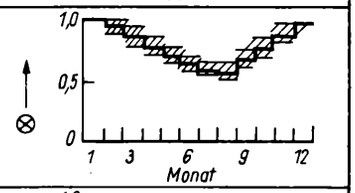
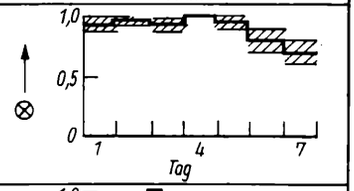
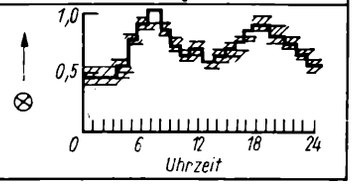
Die stochastischen Belastungsmodelle erfassen den Belastungsverlauf entsprechend seinem realen Zufallsverhalten, siehe z. B. [3] [4] [5]. Das geschieht, kurz angedeutet, wie folgt:
— Der Belastungsverlauf wird analog Tafel 1 (Hierarchieebene Tgl) in solche Intervalle zerlegt, in denen die Belastungsparameter als zeitlich konstant angenommen werden können. Diese Intervalle bezeichnet man als Stationaritätsintervalle.
— Innerhalb eines Stationaritätsintervalls wird — gestützt auf entsprechende Messungen und Tests — davon ausgegangen, daß die tatsächlich auftretenden Belastungen gemäß einer Normalverteilung streuen. Als Belastungsparameter treten deren Parameter Mittelwert und Standardabweichung bzw. Variationskoeffizient (= Standardabweichung/Mittelwert) auf. Teilweise kommen noch weitere Parameter in Betracht, z. B. für die Abbildung des Zusammenhangs Wirklast-Blindlast.
— Für periodisch beständige Belastungsverläufe, wie in öffentlichen Verteilungsnetzen, sind neben der überwiegend publizierten Vorgehensweise über Stationaritätsintervalle (siehe z. B. [3] [4]) auch Ansätze bekannt, die zumindest beim Mittelwert mit stetigen Funktionen arbeiten [5].

Es ist üblich, zwischen stationären und nichtstationären stochastischen Belastungsmodellen zu unterscheiden und sie wie folgt zu charakterisieren [6]:
— *Stationäre Modelle* bilden nur ein Stationäritätsintervall ab. Sie dienen daher zur Beschreibung von Belastungen mit langen Stationaritätsintervallen oder für die Abbildung von Belastungen innerhalb besonders interessierender kurzer Stationaritätsintervalle, z. B. des Höchstlastintervalls.
— *Nichtstationäre Modelle* bilden mehr als ein Stationaritätsintervall und dadurch im Gegensatz zu stationären Modellen auch Zeitverläufe ab. Grundlagen dafür sind deterministische Zeitfunktionen (Ganglinien), die die Werte der Belastungsparameter für jedes Stationaritätsintervall enthalten.

Die stochastischen Belastungsmodelle sind im Prinzip sehr abbildscharf, wegen ihrer mathematisch anspruchsvollen Fassung aber mit Anwendungsproblemen behaftet. Vereinfachte Modelle, wie nach Abschn. 3., reduzieren die Abbildschärfe zugunsten der Anwendungsfreundlichkeit.

Doz. Dr. sc. techn. *Lutz Bochanky*, VEB Energiekombinat Dresden.

Tafel 1. Hierarchieebenenfür Belastungsmodelle

Hierarchie-ebene	Betrachtungs-zeitraum	Bezogene Ganglinie	
		Definition	Beispiel
Jahres-höchstlast-ganglinie (Jhgl)	... 30 Jahre	Folge von Jahreshöchstlasten	
Jahresgang-linie (Jgl)	1 Jahr	Folge von Monatshöchstlasten	
Wochen-ganglinie (Wgl)	1Woche	Folge von Tageshöchstlasten	
Tagesgang-linie (Tgl)	1 Tag	Folge von Intervallmittelwerten (Intervalle z.B 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ Stunde, hier 1 Stunde)	

⊗ Höchstlast/Höchstlast im 1. Jahr (Jhgl)
Last/Höchstlast (Jgl, Wgl, Tgl)

▨ Ungewißheitsbereich

3. Statistisch gestützte Belastungsmodelle

3.1. Grundgedanken

Die statistisch gestützten Belastungsmodelle orientieren sich an bekannten Ganglinienparametern und systematisieren sie. Eine Folge dieser Orientierung ist, daß im Gegensatz zu den oben beschriebenen stochastischen Belastungsmodellen auch Parameter integralen Charakters verwendet werden (Abschn. 3.2.). Hinsichtlich der Abbildung des zufälligen Anteils sind im Vergleich zu den stochastischen Belastungsmodellen folgende zwei Vereinfachungen vorgenommen worden:

— Als Streuungsmaß wird anstelle der Standardabweichung bzw. des Variationskoeffizienten das am einfachsten zu ermittelnde und zu verarbeitende Maß, die Spannweite (= größter minus kleinster Meßwert) verwendet. Der Mittelwert wird beibehalten.

— Die Angabe einer Spannweite und eines Mittelwertes, der auf allen von ihr umfaßten Werten beruht, wird nicht durchgängig, sondern nur für wichtige integrale Ganglinienparameter (Abschn. 3.2.) und für solche diskreten Ganglinienparameter angestrebt, die besonders interessierende Intervalle beschreiben (Abschn. 3.3.).

Die gewählte Modellbezeichnung („statistisch gestützt") soll die vorgenommenen Vereinfachungen andeuten.

Wie bei den stochastischen Belastungsmodellen wird zwischen stationären und nichtstationären Modellen unterschieden, wobei die Abbildung des Zeitverlaufs wieder als Unterscheidungskriterium dient:

— *Stationäre Modelle* bilden keine Zeitverläufe ab, sondern beschreiben die Ganglinie über integrale Parameter (Abschn. 3.2.)

— *Nichtstationäre Modelle* bilden Zeitverläufe über geeignete Ganglinendarstellungen ab (Abschn. 3.3.).

Zu erkennen ist, daß ein nichtstationäres statistisch gestütztes Belastungsmodell in einem besonders interessierenden Intervall in ein stationäres stochastisches Belastungsmodell übergeht, wenn für dieses Intervall die Spannweite durch die Standardabweichung bzw. den Variationskoeffizienten ersetzt wird.

3.2. Stationäre Modelle

Wichtige integrale Ganglinienparameter sind

— die Verhältnisse von Mittelwert zu Höchstwert der Belastungen im Betrachtungszeitraum nach (1) bis (3)

— der mittlere Leistungsfaktor nach (4)

— die Belastungsdauerlinien („geordnete Diagramme") bzw. deren Parameter.

Verhältnisse Mittelwert/Höchstwert

$$\frac{\bar{S}}{S_{max}} = \frac{\sqrt{A_P^2 + A_Q^2}}{S_{max} \cdot \Delta T} = \frac{T_{S\,max}}{\Delta T} \tag{1}$$

$$\frac{\bar{P}}{P_{max}} = \frac{A_P}{P_{max} \cdot \Delta T} = \frac{T_{P\,max}}{\Delta T} \tag{2}$$

$$\frac{\bar{Q}}{Q_{max}} = \frac{A_Q}{Q_{max} \cdot \Delta T} = \frac{T_{Q\,max}}{\Delta T} \tag{3}$$

$\bar{S}, \bar{P}, \bar{Q}$	Mittelwert der Schein-, Wirk-, Blindleistung
S_{max}, P_{max}, Q_{max}	Höchstwert der Schein-, Wirk-, Blindleistung
A_P, A_Q	Wirk-, Blindarbeit, die im Betrachtungszeitraum übertragen wird
ΔT	Betrachtungszeitraum als Stundenzahl
$T_{S\,max}$, $T_{P\,max}$, $T_{Q\,max}$	Benutzungsstundenzahl der Schein-, Wirk-, Blindhöchstleistung

Für bestimmte Verhältnisse haben sich feste Begriffe eingebürgert, wie

— Belastungsgrad m für das Verhältnis $\bar{S}/S_{max}$ (exakt für das Stromverhältnis $\bar{I}/I_{max}$) in der Tagesganglinie im Zusammenhang mit der Strombelastbarkeit der Kabel [7]

— Benutzungsfaktoren der Schein-, Wirk-, Blindhöchstleistung $n_{S\,max}$, $n_{P\,max}$, $n_{Q\,max}$ für die Verhältnisse $\bar{S}/S_{max}$, $\bar{P}/P_{max}$, $\bar{Q}/Q_{max}$, in der vollständigen Jahresganglinie im Zusammenhang mit Netzverlustberechnungen [1], Abschn. 3.3.5., und energiewirtschaftlichen Betrachtungen. Die vollständige Jahresganglinie bildet den Belastungsverlauf insgesamt und damit nicht nur die Folge der Monatshöchstlasten wie die Jahresganglinie nach Tafel 1 ab.

Mittlerer Leistungsfaktor $\cos \varphi_m$

$$\cos \varphi_m = \frac{A_P}{\sqrt{A_P^2 + A_Q^2}}. \tag{4}$$

Belastungsdauerlinien

Die Belastungsdauerlinien, meist als Jahresbelastungsdauerlinien angegeben [1], Abschn. 4.1.1., weisen die Überschreitungsdauer $T_{\ddot{U}}$ für bestimmte Belastungen als Summe aller zu erwartenden Einzelüberschreitungen innerhalb des Betrachtungszeitraumes (eines Jahres) aus (Bild 1). Statistisch entsprechend untermauerte Dauerlinien können als Verteilungsfunktionen interpretiert werden [8].

3.3. Nichtstationäre Modelle

Bestandteile sind

— die Ganglinien und in diesen
— die besonders interessierenden Intervalle, die durch Parametermittelwerte und -spannweiten gestützt werden.

Ganglinien

Die Hierarchie und Definition der Ganglinien geht aus Tafel 1 hervor.

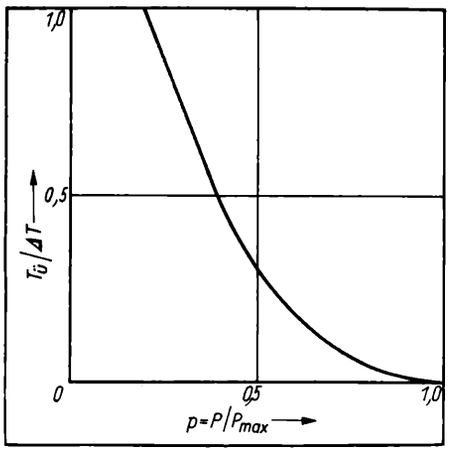
Die Ganglinien interessieren für die Belastungsparameter bezogene Wirklast $p = P/P_{max}$, bezogene Blindlast $q = Q/Q_{max}$ und Leistungsfaktor cos φ. Auf die Ganglinien der bezogenen Scheinlast kann verzichtet werden, weil sich gezeigt hat, daß sie sich nicht nennenswert von der bezogenen Wirklast unterscheiden. Das gilt als Folge davon auch für alle Ganglinienparameter.

Besonders interessierende Intervalle

Eine Übersicht zu den besonders interessierenden Intervallen und über die dort durch Mittelwerte und Spannweiten zu stützenden Parameter gibt Tafel 2.

Man erkennt dabei sowohl zeitlich festliegende Intervalle und auch solche, deren Zeiträume erst ermittelt werden müssen. Die festliegenden Intervalle folgen aus den bekannten Zeiträumen der Werktagshöchstlast in den Netzen vom Mittelspannungsnetz aufwärts (Mo—Fr, 7.00 bis 8.00 Uhr) und der Werktagshöchstlast in den Niederspannungsnetzen reiner Wohngebiete (Mo—Fr, 18.00 bis 20.00 Uhr). Die Bedeutung der in Tafel 2 enthaltenen Intervalle und der darin zu stützenden Parameter wird aus [9] noch näher deutlich.

Bild 1. Beispiel für eine Belastungsdauerlinie



4. Anwendungsorientierte Bewertung der Belastungsmodelle

4.1. Anwendungsgebiete und Bewertungsmaßstäbe

Die Belastungsmodelle der Hierarchieebenen Tgl bis Jgl sind insbesondere für folgende Anwendungsgebiete bedeutsam [9]:

Tafel 2. Besonders interessierende Ganglinienintervalle

Ganglinie	Besonders interessierende Intervalle: Intervall ...	Nr.	Zu stützende Parameter des jeweiligen Intervalls: Zeitraum	p	q	cos φ
Tgl	der Wirkhöchstlast	1	●	✳		
Wgl		2	●	✳		
Jgl		3	●	✳		●
Tgl	der Wirklast Mo – Fr 7.00 bis 8.00 Uhr	4		●		●
Tgl	der Wirklast Mo – Fr 18.00 bis 20.00 Uhr	5		●		
Wgl	der Wirkhöchstlast Sa	6		●		
Wgl	der Wirkhöchstlast So	7		●		
Tgl	der Wirkmindestlast	8	●	●		
Wgl		9	●	●		
Jgl		10	●	●		
Tgl	der Blindhöchstlast	11	●		✳	
Wgl		12	●		✳	
Jgl		13	●		✳	
Tgl	der Blindlast Mo – Fr 7.00 bis 8.00 Uhr	14			●	
Tgl	der Blindlast Mo – Fr 18.00 bis 20.00 Uhr	15			●	
Wgl	der Blindhöchstlast Sa	16			●	
Wgl	der Blindhöchstlast So	17			●	
Tgl	der Blindmindestlast	18	●		●	
Wgl		19	●		●	
Jgl		20	●		●	
Tgl	des max. Leistungsfaktors Mo – Fr	21	●			●
Tgl	des max. Leistungsfaktors So	22	●			●
Tgl	des min. Leistungsfaktors Mo – Fr	23	●			●
Tgl	des min. Leistungsfaktors So	24	●			●

Tgl, Wgl, Jgl siehe Tafel 1
● zu stützende Parameter (Mittelwerte, Spannweiten)
✳ $p = 1$ bzw. $q = 1$ infolge der bezogenen Gangliniendarstellung

— Ermittlung des Leistungsbedarfs
— Erarbeitung von Richtlinien für eine optimale Blindleistungskompensation
— Berechnung des Verlustaufwandes
— Bestimmung der Strombelastbarkeit von Betriebsmitteln
— Behandlung von Fragen der Elektroenergiequalität.

Bei der Ermittlung des Leistungsbedarfs interessieren die Modelle u.a. hinsichtlich der Bestimmung von Höchstlastanteilen bzw. Gleichzeitigkeitsfaktoren (siehe z.B. [1], Abschnitte 8.1. und 9.1.), der zugrunde zu legenden Leistungsfaktoren (die vom mittleren Leistungsfaktor erheblich abweichen können) und der Abschätzung von Belastungen in beliebigen Intervallen. Für die Erarbeitung von Kompensationsrichtlinien spiegeln sie den Basiszustand wider.
Die Anwendungsgebiete Verlustaufwand, Strombelastbarkeit und Elektroenergiequalität sollen in den Abschnitten 4.3 bis 4.5. etwas näher betrachtet werden, weil hier sowohl mit stochastischen als auch mit statistisch gestützten Belastungsmodellen behandelte Fälle und damit Grundlagen für vergleichende Bewertungen dieser Belastungsmodelle vorliegen.
Die Bewertung muß vor allem erkennen lassen, welche Abbildschärfe für die Anwendungsfälle in öffentlichen Verteilungsnetzen angemessen ist. Den Bewertungsmaßstäben liegt die Auffassung zugrunde, daß die Abbildschärfe sowohl mit den Möglichkeiten der Datenbereitstellung (Abschn. 4.2.) als auch mit den Möglichkeiten und Notwendigkeiten der Weiterverarbeitung der Belastungsmodelle (Abschnitte 4.3. bis 4.5.) koordiniert werden muß.

4.2. Datenbereitstellung

Der Datenbereitstellung ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen, weil ein Modell nur anwendbar ist, wenn auch die benötigten Daten verfügbar sind.
Die Anforderung an die Datenbasis sind bei den stochastischen Belastungsmodellen um vieles höher als bei den statistisch gestützten Belastungsmodellen, da für die Ermittlung von Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten ein wesentlich größerer Stichprobenumfang erforderlich ist als für die Ermittlung von Spannweiten. Ob es möglich ist, diesen Anforderungen im erforderlichen Umfang (für alle interessierenden Parameter in den einzelnen typischen Versorgungsgebieten und den Hierarchieebenen nach Tafel 1) mit vertretbarem Aufwand nachzukommen, muß angesichts der bekannten und immer wieder auftretenden Schwierigkeiten selbst bei der Erarbeitung einfachster Datenbasen bezweifelt werden.
Trotzdem wird für die Abschnitte 4.3. bis 4.5. aus methodischen Gründen einmal angenommen, daß die Datenbereitstellung auch für die stochastischen Belastungsmodelle realisierbar sei, um die Weiterverarbeitungsmöglichkeiten und -notwendigkeiten unbeeinflußt von der Datenbereitstellung behandeln zu können.

4.3. Verlustaufwand

In die Aufwandsberechnung und -minimierung ist der Aufwandsanteil Netzverluste (Verlustaufwand) innerhalb der erforderlichen Netzausschnitts- und Zeitraumgrenzen einzubeziehen [1], Abschnitte 3.3. und 7.5.
Der Verlustaufwand folgt aus den Verlustkosten in den einzelnen Jahren t des Planungszeitraumes, wobei hier im Zusammenhang mit den Belastungsmodellen nur die lastabhängigen Verlustkosten interessieren. Sie berechnen sich auf der Basis der statistisch gestützten Belastungsmodelle wie folgt:

$$v_K(t) = (\ddot{u}\, k_L + k_A\, \vartheta\, T_B)\, P_{VK\,\max}(t) \tag{5}$$

oder

$$v_K(t) = (\ddot{u}_P\, k_L + k_A\, \vartheta_P\, T_B)\, P_{VK\,\max P}(t) + (\ddot{u}_Q\, k_L + k_A\, \vartheta_Q\, T_B)\, P_{VK\,\max Q}(t) \tag{6}$$

v_K lastabhängige Verlustkosten
$\ddot{u}$, $\ddot{u}_P$, $\ddot{u}_Q$ Schein-, Wirk-, Blindüberlappungsfaktor, zu ermitteln aus den Intervallen „Mo—Fr, 7—8 Uhr", wobei $\ddot{u} = \ddot{u}_P$ gesetzt werden darf (Abschn. 3.3.), siehe auch [1], S. 52
k_L bezogene jährliche Leistungsverlustkosten
k_A bezogene Arbeitsverlustkosten
ϑ, ϑ_P, ϑ_Q Schein-, Wirk-, Blindarbeitsverlustfaktor, zu ermitteln aus den Benutzungsfaktoren der Schein-, Wirk-, Blindhöchstleistung $n_{S\max}$, $n_{P\max}$, $n_{Q\max}$ (Abschn. 3.2.) über Bild 2 [10], wobei $\vartheta = \vartheta_P$ gesetzt werden darf (Abschn. 3.3.)

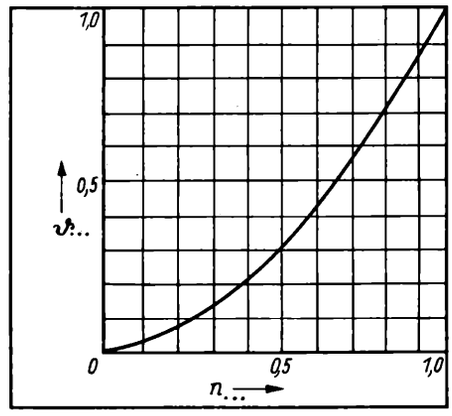


Bild 2. Arbeitsverlustfaktoren ϑ... in Abhängigkeit von den Benutzungsfaktoren n... [10]
Anmerkung: Die Kurve $\vartheta\cdots = f(n\ldots)$ gilt für $\vartheta = f(n_{S\max})$, $\vartheta_P = f(n_{P\max})$, $\vartheta_Q = f(n_{Q\max})$

T_B jährliche Betriebsstundenzahl
$P_{VK\max}$, $P_{VK\max P}$, $P_{VK\max Q}$ Wirkverlustleistung, die durch die Jahreshöchstscheinleistung $S_{\max}$, -wirkleistung $P_{\max}$, -blindleistung $Q_{\max}$ in einem Betriebsmittel mit der Resistanz R verursacht wird.

Es gilt mit der Netznennspannung U_{nN}:

$$P_{VK\max} = (S_{\max}/U_{nN})^2\, R$$
$$P_{VK\max P} = (P_{\max}/U_{nN})^2\, R$$
$$P_{VK\max Q} = (Q_{\max}/U_{nN})^2\, R.$$

Gleichung (6) bietet Vorteile für Untersuchungen zur Blindleistungskompensation. Weil durch Kompensation der erste Summand nicht beeinflußbar ist, braucht nur der zweite Summand dieser Gleichung, der den Zusammenhang zwischen Blindleistungstransport und Verlustkosten in einfacher Form widerspiegelt, in Optimierungsrechnungen einbezogen zu werden.
Die Berechnung nach (5) und (6) erfolgt mit Mittelwerten der Parameter $\ddot{u}$... und ϑ... (bzw. n...) der statistisch gestützten Belastungsmodelle und sie liefert dadurch auch Mittelwerte der Verlustkosten. Die Wirkverlustleistungen $P_{VK\max}\ldots(t)$ folgen aus dem Prognosemodell (Hierarchieebene Jhgl nach Tafel 1), und sie sind hier für den Vergleich von statistisch gestützten und stochastischen Belastungsmodellen ohne Belang.
Im Gegensatz zu den Mittelwerten können mit den stochastischen Belastungsmodellen in einer anspruchsvolleren Vorgehensweise Verteilungsfunktionen für die Verlustkosten und damit letztlich auch für den Verlustaufwand bestimmt werden [11]. Zumindest für öffentliche Verteilungsnetze kann das nicht als lohnend angesehen werden. Dafür sprechen insbesondere folgende Gründe:

— Die Berechnung des Aufwandes unterliegt einer Reihe von Faktoren, deren Ungewißheitsbereiche einen weit stärkeren Einfluß auf das Ergebnis haben als die des Verlustaufwands innerhalb eines Jahres. Als Beispiel seien im Aufwandsanteil Netzverluste die Ungewißheiten im Prognosemodell (Hierarchieebene Jhgl nach Tafel 1) und ihre Auswirkungen auf $P_{VK\max}\ldots$ sowie der gesamte Aufwandsanteil Investitionen mit seinen Ungewißheitsfaktoren Investitionsrealisierung und Betriebsmittelpreise innerhalb des langfristigen Planungszeitraumes genannt.
— Die angeführten wesentlich einflußreicheren Ungewißheitsbereiche lassen sich nur in Grenzen einschließen, aber nicht durch Verteilungsfunktionen beschreiben. Das rechtfertigt, auch weniger einflußreiche Ungewißheitsbereiche so zu fassen, wie es in den statistisch gestützten Belastungsmodellen über die Spannweiten geschieht. Für die Weiterverarbeitung von „nur innerhalb weiter Grenzen bekannter Eingangsdaten" stehen geeignete Methoden bereit [1], Abschn. 7.7., wenn mittelwertorientierte Entscheidungswege in speziellen Fällen verlassen werden sollen.
— Eines der Merkmale öffentlicher Verteilungsnetze besteht darin, daß bei der Planung und auch bei der Betriebsführung über eine große Anzahl von Einzelmaßnahmen zu entscheiden ist, von denen viele gleichartig sind. Dadurch ist die Wiederholungszahl vieler Entscheidungsfälle hoch. Das rechtfertigt, fast immer mittelwertorientierte Aufwandsberechnungen (wie beim Verlustaufwand ausgehend von statistisch gestützten Belastungsmodellen) durchzuführen und leicht handhabbare Planungsempfehlungen, die fester Bestandteil der Planungsmethodik sind, abzuleiten [1], Abschn. 2.2.3. Damit wird in einfacher Weise über die Gesamtheit aller gleichartigen Entscheidungsfälle ein optimales Ergebnis erzielt, auf das sich auch die Gesamtheit aller nicht mittelwertorientierten Entscheidungen stabilisieren würde [12].

Die genannten und andere Gründe machen es erforderlich, der global geäußerten Ansicht [11] zu widersprechen, nach der eine nichtstochastische Aufwandsminimierung sinnlos sei.

4.4. Strombelastbarkeit

Zur Strombelastbarkeit erfolgten in den letzten Jahren eingehende Untersuchungen, die insbesondere darauf gerichtet waren, die Belastbarkeit stärker als bisher in Abhängigkeit vom Belastungsverlauf zu ermitteln. Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurden beachtliche Belastbarkeitsreserven erschlossen und in die Vorschriften eingearbeitet. Für Transformatoren ist diesbezüglich auf [13] und [14] sowie für Kabel auf [15] und [7] zu verweisen.
Die vorgestellten statistisch gestützten Belastungsmodelle sind mit den Vorschriften [14] und [7] kompatibel. So werden in [14] Belastbarkeitsgrenzen für die Transformatoren in Ortsnetzstationen und Umspannwerken der öffentlichen Energieversorgung angegeben, die auf typischen Tagesganglinien beruhen [13], während in [7] der Belastungsgrad m nach Abschn. 3.2. als Eingabewert zu verwenden ist.
Wird erwogen, im Zusammenhang mit der Strombelastbarkeit die stochastischen anstelle der statistisch gestützten Belastungsmodelle anzuwenden, so kommen dafür wegen der in öffentlichen Verteilungsnetzen typischen Tagesganglinien nur nichtstationäre stochastische Belastungsmodelle in Frage [6]. Deren Zusammenspiel mit Belastbarkeitsmodellen führt aber zu Algorithmen, die so kompliziert sind, daß sie höchstens für Sonderfälle empfohlen werden [16] [17] [18], wodurch sie für die in Verteilungsnetzen erforderliche Breitenanwendung ausfallen. Die ingenieurpraktischen stochastischen Verfahren [16] [18] beruhen auf stationären stochastischen Belastungsmodellen und sind deshalb für öffentliche Verteilungsnetze nicht geeignet. Ihr Anwendungsgebiet ist in Netzen mit dauerlastähnlichen Ganglinien zu suchen.

4.5. Elektroenergiequalität

Die Spannungsfälle in den Betriebsmitteln und dadurch auch die Spannungsabweichungen in interessierenden Netzpunkten (Übergabestellen, Abnahmepunkte) stehen in einem unmittelbaren Zusammenhang mit der Belastung. Dadurch setzen auch Untersuchungen zur Elektroenergiequalität geeignete Belastungsmodelle voraus.
Ausgehend von statistisch gestützten Belastungsmodellen sind in den letzten Jahren die zulässigen Spannungsfälle z. T. neu festgelegt oder empfohlen worden [1], Abschnitte 4.2.1. und 8.2.3. Dabei wurde zum einen der Effekt ausgenutzt, nach dem in öffentlichen Verteilungsnetzen und vor allem in Installationsnetzen von Wohngebäuden maximale oder in der Nähe des Maximums liegende Spannungsfälle nur kurzzeitig und deshalb in hintereinander geschalteten Betriebsmitteln meist auch nicht gleichzeitig auftreten, und zum anderen zugestanden, daß unbedeutende Überschreitungen herkömmlicher Spannungstoleranzen auftreten dürfen. Eine wichtige Grundlage für die Untersuchungen waren Belastungsdauerlinien nach Abschn. 3.2., aus denen die Größe von Überschreitungen und deren mittlere jährliche Gesamtdauern ableitbar sind.
Mit nichtstationären stochastischen Belastungsmodellen können die Überschreitungen detaillierter, z. B. als Einzelüberschreitungen in einer wahrscheinlichkeitsorientierten Ergebnisform, abgebildet werden. Für die Entscheidungsfindung hinsichtlich zumutbarer Überschreitungen hätte das unter dem angemessenen Gesichtspunkt, die Überschreitungen auf eine die Verbraucherfunktionstüchtigkeit nicht störende Größe zu begrenzen und schon die Gesamtüberschreitungsdauer sehr klein zu halten, keine besondere Bedeutung. Eine Verfeinerung der Belastungsabbildung sollte vielmehr vorrangig durch die bessere Fundierung der Belastungsdauerlinien der statistisch gestützten Belastungsmodelle nach Abschn. 3.2. erfolgen. Bisher konnte hinsichtlich der Überschreitungen wegen der lediglich aus älteren Quellen bekannten Dauerlinien nur sehr vorsichtig entschieden werden.

5. Zusammenfassung

Zur Abbildung des Belastungsverlaufs einschließlich der ihm innewohnenden Ungewißheiten werden Belastungsmodelle in zeitlichen Hierarchieebenen von einem Tag bis zum langfristigen Planungszeitraum angewendet. Der Aufsatz befaßt sich mit der Beschreibung der Belastungen innerhalb eines Jahres. Hierfür werden stochastische Belastungsmodelle und statistisch gestützte Belastungsmodelle vorgestellt. Die stochastischen Belastungsmodelle sind sehr abbildscharf, aber mit erheblichen Anwendungsproblemen behaftet, während die statistisch gestützten Belastungsmodelle weniger abbildscharf, dafür aber anwendungsfreundlicher sind. Eine Modellbewertung aus der Sicht der Bereitstellung der Eingangsdaten und der Weiterverarbeitung der Ausgangsdaten zeigt, daß für öffentliche Verteilungsnetze die anwendungsfreundlichen statistisch gestützten Belastungsmodelle auch genügend abbildscharf sind. In [9] wird eine Datenbasis für diese Modelle angegeben sowie auf spezielle Anwendungsfälle hingewiesen.

Literatur

[1] *Bochanky, L.:* Planung öffentlicher Elektroenergieverteilungsnetze. Gestaltung, Bemessung, Betriebsweise, Netzrückwirkungen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985
[2] *Langner, A.:* Die Darstellung von Belastungsgängen durch Fourier-Reihen. Dissertation. TH Ilmenau 1968
[3] *Hoffmann, J.; Fokin, J. A.:* Zur Modellierung der Belastung von Elektroenergieversorgungssystemen durch stochastische Prozesse. Energietechnik, Leipzig 25 (1975) 6, S. 240–243
[4] *Hoffmann, J.; Denisenko, N. A.; Tschernenko, P. A.:* Zufallsverhalten, Monte-Carlo-Simulation und Prognose der Betriebsbelastungen von Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 10, S. 386–389
[5] *Bernhardt, U.:* Ein allgemeines nichtstationäres statistisches Wahrscheinlichkeitsmodell des Jahres-Elektroenergieverbrauchs von Verbraucherknoten eines Energiesystems. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 1, S. 29–31
[6] *Bernhardt, U.:* Zur Frage der Darstellung der elektrischen Last durch Wahrscheinlichkeitsmodelle. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 6, S. 296–297, 300
[7] TGL 200-0612/03: Kabel in elektrotechnischen Anlagen; Starkstromkabel; Bemessung, Schutz. Ausg. Februar 1985
[8] *Hoffmann, J.:* Eine Beziehung zwischen stochastischem Prozeß und Belastungskennlinie bei zufällig schwankender Belastung elektrischer Energieabnehmer. ELEKTRIE, Berlin 27 (1973) 10, S. 524–525
[9] *Bochanky, L.; Schurig, S.:* Belastungsgänge in öffentlichen Nieder- und Mittelspannungsnetzen. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, S. 340–345
[10] *Sloy, B.:* Die Bestimmung des Arbeitsverlustfaktors für den allgemeinen Belastungsfall. Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt (Main) 65 (1966) 12, S. 384–391
[11] *Hoffmann, J.; Denisenko, N. A.:* Zur stochastischen Aufwandsminimierung bei Elektroenergieanlagen. ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 7, S. 254–256
[12] *Pilz, E.:* Mathematische Abbildung endlich oft wiederholbarer Entscheidungen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 5, S. 263–266
[13] *Goldnau, J.:* Belastbarkeit von Öltransformatoren (Teil I und II). Standardisierung und Neuererbewegung. Energie, Berlin 27 (1986) 7, S. 10–16 und 8, S. 3–12
[14] TGL 190-167/05: Transformatoren und Drosseln; Belastbarkeit von Drehstromtransformatoren mit Oberspannung über 1 kV. Entwurf Juli 1987
[15] *Biewald, H.:* Technisch-ökonomische Untersuchung zur Strombelastbarkeit von Starkstromkabeln in Erde. VEB Energiekombinat Berlin, Bericht-Nr. 60-019-(1983)FE
[16] Stochastische Bemessung von Drehstromöltransformatoren nach technisch-ökonomischen Kriterien. VEM-Projektierungsvorschrift Nr. 1.14/4.85
[17] *Hirte, W.; Falk, G.:* Stochastische Bemessung von Starkstromkabeln nach der thermischen Grenzbelastbarkeit. ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 7, S. 256–258
[18] Stochastische Bemessung von Starkstromkabeln nach technisch-ökonomischen Kriterien im Normalbetrieb. VEM-Projektierungsvorschrift Nr. 1.6./4. 84

EA 5787

Bitte erneuern Sie rechtzeitig Ihr Abbonnement für die Fachzeitschrift

ELEKTRIE

damit Sie sich für 1989 wieder den Bezug aller Ausgaben sichern.

Не забудте заблаговременно продлить подписку на журнал

ELEKTRIE

на 1989 год, чтобы исключить перебои в получении всех номеров журнала в течение всего года. Мы рады, что вы и дальже будете регулярными читателями нашей публикации.

Please renew your subscription to journal

ELEKTRIE

in time, in order to provide again the delivery of all issues of the 1989 volume. We are glad, that you will belong to the readers of our periodical in future, too.

Aktive magnetische Lager – eine Übersicht über theoretische Grundlagen, Aufbau, Wirkungsweise, Entwurf und spezielle Probleme. Teil 2

P.-K. Budig, KDT; H. Timmel, KDT; Th. Schubert, KDT; U. Jugel, KDT; K. Seyfarth, KDT; Karl-Marx-Stadt

2.1.7. Zusammenwirken der Elemente des aktiven radialen Magnetlagers

Ausgehend von der regelungstechnischen Beschreibung der einzelnen Elemente des Regelkreises (vgl. Tafel 3) ist zu erkennen, daß zumindest ein D-Anteil im Regler notwendig ist, um das Gesamtsystem zu stabilisieren.

Damit ergibt sich für die einfachste Realisierung der zwei Regelkreise des untersuchten radialen aktiven Magnetlagers das Signalflußbild nach Bild 14.

Für die charakteristische Gleichung des geschlossenen Regelkreises $[0 = 1 + G_0(p)]$ entsteht eine Gleichung 4. Grades. Mit der charakteristischen Gleichung des offenen Regelkreises

$$G_0(p) = \frac{k(1 + pT_D)}{(1 + pT_Q)(1 + pT_M)(Fp^2 - H)} \quad \text{und} \quad k = k_R k_i k_Q k_M ab \tag{21}$$

erhält man

$$0 = \underbrace{F T_Q T_M}_{a_0} p^4 + \underbrace{(F T_Q + T_M F)}_{a_1} p^3 + \underbrace{(F - H T_Q T_M)}_{a_2} p^2 + \underbrace{(k T_D - H T_Q - H T_M)}_{a_3} p + \underbrace{(k - H)}_{a_4}. \tag{22}$$

Die Anwendung des Routh-Kriteriums ergibt die kritischen Reglerparameter, die den stabilen Bereich der Gesamtanordnung eingrenzen.

$$\frac{H}{k_E} < k_R < \frac{(T_M + T_Q)[T_D F + T_D T_Q T_M H - F(T_M + T_Q)]}{T_D^2 k_E T_Q T_M} = k_{R\,krit} \tag{23}$$

$$T_D < \frac{F(T_M + T_Q)}{k_E T_M T_Q} \cdot \frac{1}{k_{R\,krit}}. \tag{24}$$

Dabei ist $k_E = k_i k_Q k_M ab$.

Dieses Ergebnis zeigt, daß die beschriebene Anordnung mit einem PD-Regler stabilisiert werden kann.

Zur Ermittlung weiterer Aussagen zur Stabilität und Dynamik des aktiven Magnetlagers wurde das Wurzelortskurvenverfahren herangezogen. Dieses Verfahren liefert vergleichsweise schnell und übersichtlich Ergebnisse zur Beurteilung der Stabilität und des dynamischen Verhaltens des geschlossenen Regelkreises. Die Wurzelortskurven werden durch die Lösung der charakteristischen Gleichung des geschlossenen Regelkreises berechnet. Die Lage der Wurzeln wird in Abhängigkeit vom Parameter k, der Kreisverstärkung des offenen Regelkreises, dargestellt. Aus der Lage der Wurzelortskurvenäste können Rückschlüsse auf Gütekenngrößen des statischen und dynamischen Verhaltens gezogen werden.

Für die Berechnung der Wurzelortskurven bewährte sich der iterative Lösungsweg nach *Bairstow* [5]. Zur Lösung von Gleichungen bis zu 19. Grades wurde ein Programm in FORTRAN erstellt.

Sind die Realteile aller Polstellen ab einem Verstärkungsfaktor k_0 bis zu einem Verstärkungsfaktor k_{krit} negativ, ist das System für den Bereich $k_0 < k < k_{krit}$ stabil. Je näher sich die Pole der rechten Halbebene befinden, um so mehr haben sie Einfluß auf das dynamische Verhalten des Systems. Ein dominierendes, nahe der imaginären Achse liegendes, konjugiert komplexes Polpaar bestimmt wesentlich das dynamische Verhalten des Gesamtsystems. Die Bilder 15 und 16 stellen für das Versuchsmodell errechnete Wurzelortskurven dar. Im Sinne gedämpfter, schnell abklingender Übergangsvorgänge ist die Lage des dominierenden Polpaares in der Nähe des Winkels $\varphi = 45°$ ein günstiger Kompromiß.

Eine wesentliche Beschreibungsgröße insbesondere aktiver Lagerungen ist deren statische Steifigkeit S, d.h. die Auslenkung s des zu lagernden Körpers aus der Sollposition unter Einwirkung einer

Tafel 3. Struktur und Parameter der Elemente des Regelkreises der aktiven radialen Magnetlagerung

Element	Übertragungsfunktion	Stationärer Übertragungsfaktor	Zeitkonstante
Stelleinrichtung und Regelstrecke	$k_i \frac{ab}{Fp^2 - H}$	$k_i \frac{ab}{H}$	$T_1 = -\sqrt{\frac{F}{H}}$; $T_2 = +\sqrt{\frac{F}{H}}$
Wegmeßsystem	$\frac{k_M}{1 + pT_M}$	k_M	T_M
Leistungsverstärker	$\frac{k_Q}{1 + pT_Q}$	k_Q	T_Q
PD-Regler	$k_R(1 + pT_D)$	k_R	T_D

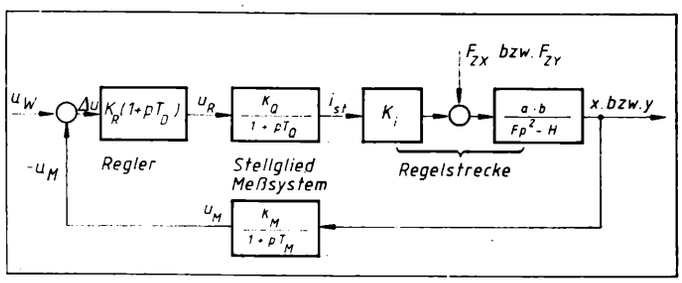
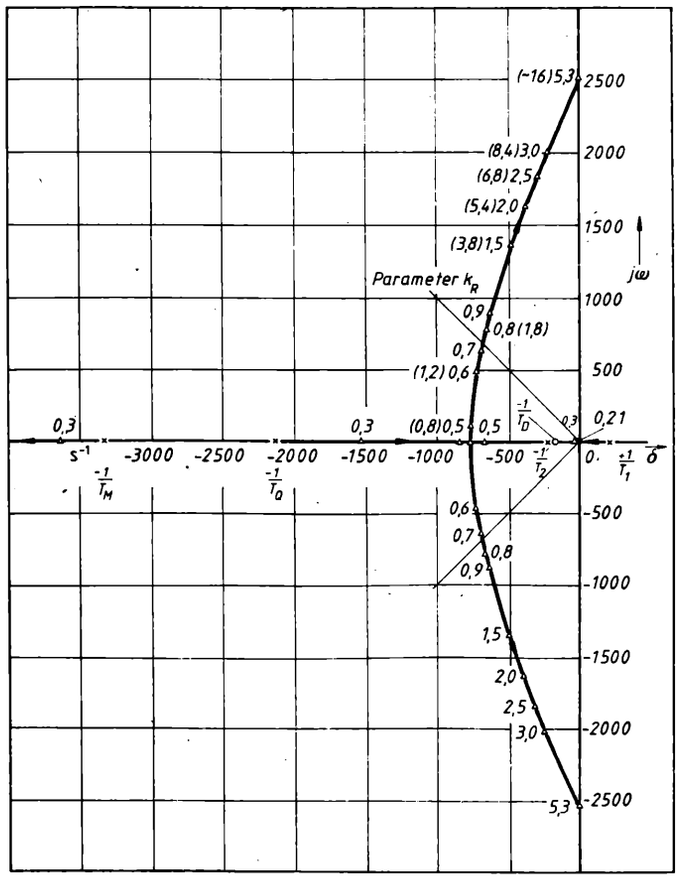


Bild 14. Signalflußbild eines Regelkreises des aktiven radialen Magnetlagers mit PD-Regler

Bild 15. Wurzelortskurve des aktiven radialen Magnetlagers mit verbessertem Wegmeßsystem (20 kHz Trägerfrequenz); Grunderregerstrom $I_0 = 1$ A; stabiler Bereich: $0{,}21 < k < 5{,}3$; günstigster Wert: $k \approx 0{,}7$ bis $0{,}8$; Zeitkonstanten: Regelstrecke $T_{1,2} = \pm 5{,}54$ ms; Steller + Spulensystem $T_Q = 0{,}45$ ms; Meßsystem $T_M = 0{,}3$ ms; Vorhaltzeit $T_D = 6{,}0$ ms (Werte in den Klammern: Steifigkeit S $\left[\frac{N}{\mu m}\right]$)



Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. *Peter-Klaus Budig*, Technische Universität Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik; Dr. sc. techn. *Heinz Timmel*, TUK, Sektion Automatisierungstechnik; Dr.-Ing. *Thomas Schubert*, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungszentrum für Werkzeugmaschinenbau Karl-Marx-Stadt, z. Z. der Bearbeitung der Thematik wissenschaftlicher Assistent an der THK, Sektion Automatisierungstechnik; Dr.-Ing. *Klaus Seyfarth*, Lektor, TUK, Sektion Automatisierungstechnik; Dr.-Ing. *Ulrich Jugel*, wissenschaftlicher Assistent, TUK, Sektion Automatisierungstechnik.

konstanten Störkraft F_z:

$$S = \frac{F_z}{s}. \tag{25}$$

Berechnen läßt sich die Steifigkeit des aktiven Magnetlagers aus dessen Störübertragungsverhalten. Für die Grundstruktur eines einfachen Regelkreises (Bild 14) folgt demnach

$$G_z(p) = \frac{x(p)}{z(p)}\bigg|_{w=0} = \frac{G_z(p)}{1 + G_0(p)}. \tag{26}$$

Für den Regelkreis des aktiven radialen Magnetlagers nach Bild 14 kann man herleiten:

$$G_z(p) = \frac{ab\,[T_Q\,T_M\,p^2 + (T_a + T_M)\,p + 1]}{F\,T_Q\,T_M\,p^4 + F\,(T_Q + T_M)\,p^3 + (F - HT_Q\,T_M)\,p^2} \cdots$$
$$\cdots \frac{}{+ [k\,T_D - H\,(T_Q + T_M)]\,p + (k - H)}. \tag{27}$$

Dabei gilt $k = ab\,k_M\,k_Q\,k_i\,k_R$. Der stationäre Endwert dieser Funktion (alle Übergangsvorgänge abgeklungen, $p \to 0$) ist die bleibende Regelabweichung, bezogen auf die Störkraft, d.h. der Reziprokwert der statischen Steifigkeit S.

$$\frac{1}{S} = \lim_{p \to 0} G_z(p) = \frac{ab}{k - H} \quad \text{daraus folgt} \quad S = \frac{k - H}{ab}. \tag{28}$$

Mit den Gln. (13) und (21) erhält man schließlich für die statische Steifigkeit des aktiven radialen Magnetlagers

$$S = k_R\,k_i\,k_Q\,k_M - \frac{m_R\,g\,s_1}{ab} - \frac{a}{b}\,k_s. \tag{29}$$

Hohe Steifigkeiten S erfordern einen hohen stationären Übertragungsfaktor $k' = k_R\,k_i\,k_Q\,k_M$. Bei vorgegebenen Übertragungsfaktoren der Komponenten wird die Steifigkeit letztlich vom Übertragungsfaktor des Reglers k_R bestimmt.

Die dynamische Steifigkeit kennzeichnet das Verhalten der Lagerung unter Einwirkung einer periodischen Störkraft definierter Frequenz und mit konstantem Maximalwert. Sie ist abhängig von den Dämpfungseigenschaften des Regelkreises für die betreffende Störfrequenz.

Bild 16. Wurzelortskurve des aktiven radialen Magnetlagers mit verbessertem Wegmeßsystem (20 kHz Trägerfrequenz); Grunderregerstrom $I_0 = 2$ A; stabiler Bereich: $0{,}43 < k < 4{,}0$; günstigster Wert: $k \approx 0{,}7$ bis $0{,}8$; Zeitkonstanten: Regelstrecke $T_{1,2} = \pm 2{,}84$ ms; Steller + Spulensystem $T_Q = 0{,}45$ ms; Wegmeßsystem $T_M = 0{,}3$ ms; Vorhaltzeit $T_D = 4{,}0$ ms. (Werte in den Klammern: Steifigkeit S $\left[\frac{N}{\mu m}\right]$)

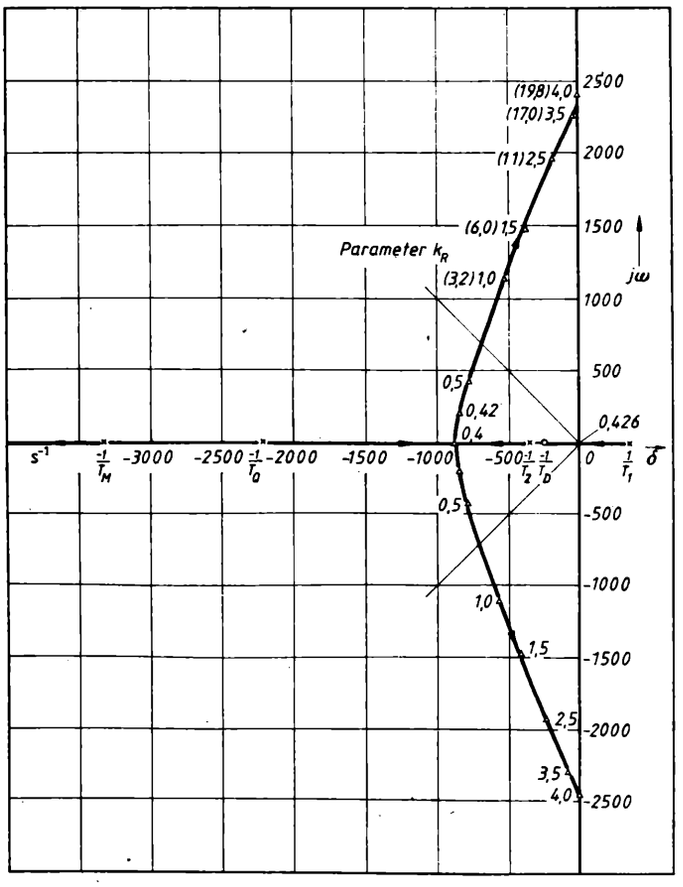
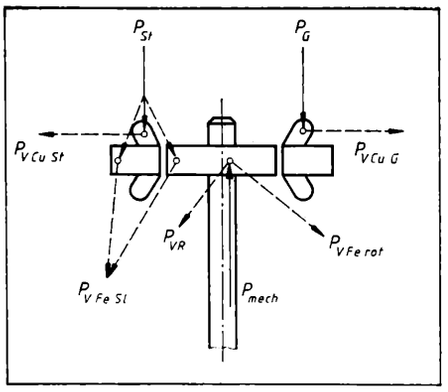


Bild 17. Leistungsbilanz des aktiven radialen Magnetlagers
←—— zugeführte Leistung
←- - - Verlustleistung



3. Bemerkungen zur Leistungsbilanz eines aktiven radialen Magnetlagers

Die entstehende Verlustleistung in einem Lager ist ein Merkmal, das beim Vergleich verschiedener Lagerarten mit herangezogen wird und maßgeblich deren Einsatzgrenzen bestimmt.

Zum Betreiben der Lagerregelkreise des elektromagnetischen Tragesystems sind Leistungen zuzuführen. Weiterhin entzieht das Lager der rotierenden Welle mechanische Leistung, d.h., ein Magnetlager erzeugt bremsende Momente.

Andererseits wird von der Lagerstelle nur dann eine Nutzleistung abverlangt, wenn eine Lagekorrektur erforderlich wird. In einem aktiven Magnetlager treten also im wesentlichen nur Verlustleistungen auf. Bild 17 zeigt schematisch die Leistungsbilanz des Magnetlagers. Zwischen den zugeführten Leistungen und den Verlustleistungen bestehen eindeutige Ursache-Wirkung-Verhältnisse. Jeder ausgewiesene Verlustanteil rührt nur von einer der drei zugeführten Leistungen her. Es gelten die Beziehungen

$$P_G = P_{VCuG} \tag{30}$$

$$P_{St} = P_{VCuSt} + P_{VFeSL} \tag{31}$$

$$P_{mech} = P_{VFerot} + P_{VR} \tag{32}$$

P_G	Grunderregungsleistung
P_{St}	Steuererregungsleistung
P_{mech}	mechanische Leistung ($M\,\omega$)
P_{VCuG}	Stromwärmeverlustleistung in der Grunderregerwicklung
P_{VCuSt}	Stromwärmeverlustleistung in den Steuerwicklungen
P_{VFeSL}	Eisenverluste in dem Stator- und Rotorblechpaket durch den pulsierenden Steuerstrom
P_{VFerot}	Eisenverluste im Rotorblechpaket durch seine Rotation im Magnetfeld
P_{VR}	Reibungsverlustleistung (Luftreibungsverluste)

Die Kupferverlustleistung in allen Grunderregerwicklungen der einzelnen Magnetsysteme berechnet sich mit

$$P_{VCuG} = R_G(\vartheta)\,I_0^2, \tag{33}$$

$R_G(\vartheta)$	temperaturabhängiger Widerstand der Grunderregerwicklung,
I_0	Grunderregerstrom.

Sie ist abhängig von der Wellendrehzahl und von auftretenden Störkräften.

Analog gilt für die Kupferverlustleistung in den Steuerwicklungen (34):

$$P_{VCuSt} = R_{St}(\vartheta)\,(i_x^2 + i_y^2). \tag{34}$$

$R_{St}(\vartheta)$	temperaturabhängiger Widerstand der Steuerwicklung.

Die Steuerströme i_x, i_y sind ein Maß für die Lagerbelastung.

Je größer die Störkräfte sind, desto größer sind die Steuerströme und Verluste. Die zeitliche Änderung der Steuerströme, die durch Störkraftschwankungen und die 2-Punkt-Regelung des Pulsstellerstromes bedingt ist, führt zur Änderung der Induktion im Stator- und Rotorblechpaket. Im Statorblechpaket liegt eine Form der Wechselmagnetisierung mit Gleichstromvormagnetisierung vor. Im rotierenden Rotorblechpaket tritt eine Kombination aus Wechsel- und Drehmagnetisierung auf. Eine einfache, allgemeingültige Berechnungsmethode für die dabei entstehenden Eisenverluste ist nicht angebbar. Im konkreten Fall lassen sie sich in erster Näherung experimentell durch Präzisionsmessungen abspalten:

$$P_{VFeSL} = P_{St} - P_{VCuSt}. \tag{35}$$

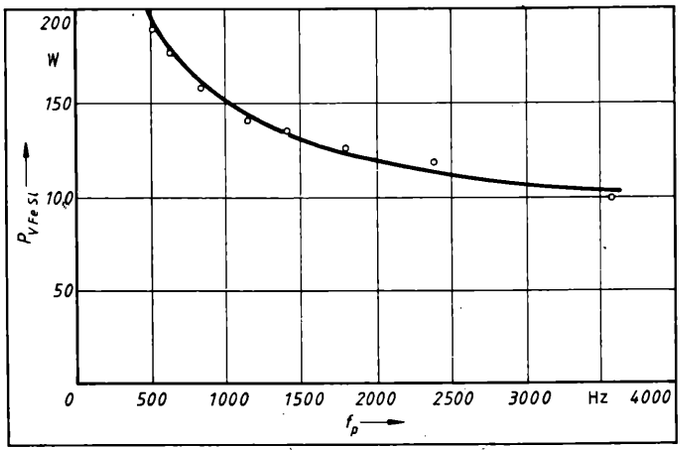


Bild 18. Eisenverlustanteil P_{VFeSL}, der vom Wechselanteil des Steuerstroms herrührt

Da die Pulsfrequenz f_p des Pulsstellers im allgemeinen sehr viel höher sein wird als die Drehfrequenz der Welle f_n, kann die Verlustleistung P_{VFeSL} als nahezu unabhängig von der Wellendrehzahl angenommen werden.

In [6] wird der Verlustleistungsanteil P_{VFeSL} unter einer Reihe von Annahmen und Vereinfachungen abgeschätzt, der vom pulsstellerbedingten Wechselanteil des Steuerstromes herrührt.

— Der Wechselanteil des Steuerstromes i_{st} wird als sinusförmig verlaufend betrachtet. Für seine Amplitude soll $\hat{i}_{st} \sim \frac{1}{f_p}$ bei Veränderung der Pulsfrequenz f_p gelten (vgl. z. B. Bild 11).

— Wegen der vorausgesetzten Sättigungsfreiheit soll ebenfalls $\hat{B}_{st} \sim \frac{1}{f_p}$ gelten.

— In allen Blechpaketabschnitten wird gleiche Induktion vorausgesetzt.

— Die Umrechnung der spezifischen Verlustziffer v_{Fe} auf die wirklich vorhandene Induktion erfolgt über das Quadrat der Induktion.

— Obgleich eine Ummagnetisierung bei Vormagnetisierung vorliegt, wird mit der Verlustziffer bei Ummagnetisierung ohne Vormagnetisierung gerechnet.

Damit ermitteln sich die Eisenverluste, die vom Wechselanteil des Steuermischstromes verursacht werden, zu

$$P_{VFeSL} = m_{FeS}\, v_{FeS}\,(f_p, B_s) + m_{FeL}\, v_{FeL}\,(f_p, B_L) \tag{36}$$

mit dem spezifischen Verlust

$$v_{Fe}\,(f_p, B)\, v_h = (f_p, B) + v_{wb}\,(f_p, B)$$

und

$$v_h\,(f_p, B) = k_h\, \sigma_h \left(\frac{f_p}{50\,\mathrm{Hz}}\right) \cdot \left(\frac{B}{1\,\mathrm{T}}\right)^n;\ n \approx 2$$

$$v_{wb}\,(f_p, B) = k_{wb}\, \sigma_{wb} \left(\frac{f_p}{50\,\mathrm{Hz}}\right)^2 \cdot \left(\frac{B}{1\,\mathrm{T}}\right)^2.$$

Zusammengefaßt kann man schreiben:

$$v_{Fe}\,(f_p) \approx (C_h f_p + C_{wb} f_p^2) \cdot \left(\frac{C_B}{f_p}\right)^2 = \frac{C_1}{f_p} + C_2. \tag{37}$$

m_{FeS}, m_{FeL} magnetisch aktive Stator- bzw. Rotormasse
v_h, v_{wb} spezifischer Hysterese- bzw. Wirbelstromverlust
σ_h, σ_{wb} spezifischer Hysterese- bzw. Wirbelstromverlust bei $f = 50$ Hz und $B = 1\ \frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{m}^2} = 1$ T
k_h, k_{wb} Zuschlagsfaktoren
C_h, C_{wb}, C_B, C_1, C_2 Konstanten.

Dieser funktionelle Zusammenhang führt zu dem Merkmal, daß mit steigender Pulsfrequenz f_p die Eisenverlustleistung P_{VFeSL} kleiner wird. Im Bild 18 sind gemessene Werte für die Leistungskomponente P_{VFeSL} dargestellt. Die rechnerisch ermittelte Tendenz wird bestätigt. Diese Betrachtung ist ein Hinweis darauf, daß für ein aktives Magnetlager ein Pulssteller mit geringer Hysteresebreite $2\hat{i}_{st}$ und hoher Pulsfrequenz f_p zweckmäßig ist.

Das zur Ansteuerung des elektromagnetischen Tragesystems verwendete Differentialprinzip bedingt, daß ständig in allen einzelnen Magnetsystemen ein vom Grunderregerstrom erzeugtes Magnetfeld vorhanden ist. Durch die Rotation des Blechpaketes erfahren dessen Volumenelemente ein zeitlich sich änderndes Magnetfeld. Dabei ändert der einem Volumenelement zugeordnete Induktionsvektor seinen Betrag und führt gleichzeitig eine Drehung aus. Bild 19 veranschaulicht diesen Sachverhalt. Es liegt eine Mischform von wechselnder und drehender Magnetisierung vor.

Die spezifischen Ummagnetisierungsverluste V_{Fe} enthalten die Anteile Hystereseverluste v_h, Wirbelstromverluste v_{wb} und sogenannte Nachwirkungsverluste. Letztere werden für eine erste Näherung vernachlässigt.

Für eine rechnerische Abschätzung der Eisenverluste wird die in den einzelnen radialen Zonen des rotierenden Rotorblechpaketes auftretende Mischform von drehender und wechselnder Magnetisierung auf zwei gleichzeitig ablaufende Wechselmagnetisierungen in radialer und tangentialer Richtung zurückgeführt. Es findet das Überlagerungsprinzip Anwendung. Das ist für eine Verlustabschätzung gerechtfertigt, weil die im Eisen vorhandene Induktion B_{Fe} genügend weit unterhalb der Sättigungsinduktion liegt. Die Trennung der Magnetisierung in Radial- und Tangentialanteil macht eine genaue Kenntnis des Magnetfeldes notwendig. Zu diesem Zweck erfolgt mit Hilfe numerischer Feldberechnung die Ermittlung der Induktionsverteilung in definierten Zonen des Rotorblechpaketes. Für die einzelnen diskreten Teilgebiete des Magnetkreises wird die Radial- und Tangentialkomponente der Induktion (B_r, B_t) numerisch berechnet. Die rechnerische Aufbereitung des Problems und eine genauere Erläuterung zum Berechnungsverfahren sind in [6] enthalten.

— Wirbelstromverlustanteil

Die Radial- und Tangentialkomponente der Induktion hat entlang einer Rotorzone mit konstantem Radius einen nichtsinusförmigen Verlauf. Mit Hilfe der Fourieranalyse sind diese Induktionsverläufe in Grund- und Oberwellen zu zerlegen, um die durch die höheren Harmonischen verursachten Verluste mit zu erfassen. Dadurch, daß die magnetische Aussteuerung des Eisenkreises noch im annähernd linearen Bereich der Magnetisierungskennlinie liegt, ist die Anwendung der Fourieranalyse noch zulässig.

Rein rechnerisch werden die Verlustanteile der Oberwellen durch den Zuschlagsfaktor k_{wbob} berücksichtigt. Wenn nur ungeradzahlige Harmonische wegen des stetigen periodischen Verlaufs auftreten, ergibt sich der Faktor k_{wbob} nach (38):

$$k_{wbob} = \frac{\hat{B}_1^2 + 3^2\,\hat{B}_3^2 + 5^2\,\hat{B}_5^2 + \cdots}{\hat{B}_1^2} = \frac{\sum_{\nu=1}^{n} (\nu\,\hat{B}_\nu)^2}{\hat{B}_1^2}. \tag{38}$$

Die Wirbelstromverlustleistung aller Induktionskomponenten in

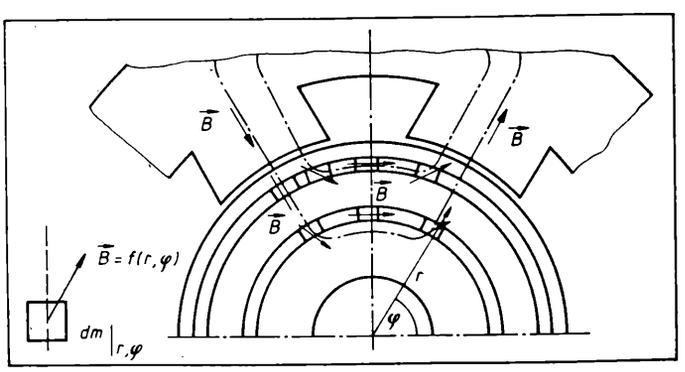


Bild 19. Drehende Ummagnetisierung im rotierenden Läuferblechpaket (schematisch)

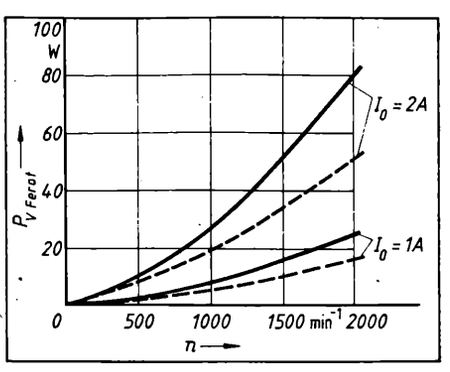


Bild 20. Eisenverlustanteil P_{VFerot} als Funktion der Rotordrehzahl n
——— Messung mit Hilfe des Auslaufversuchs
– – – rechnerische Abschätzung

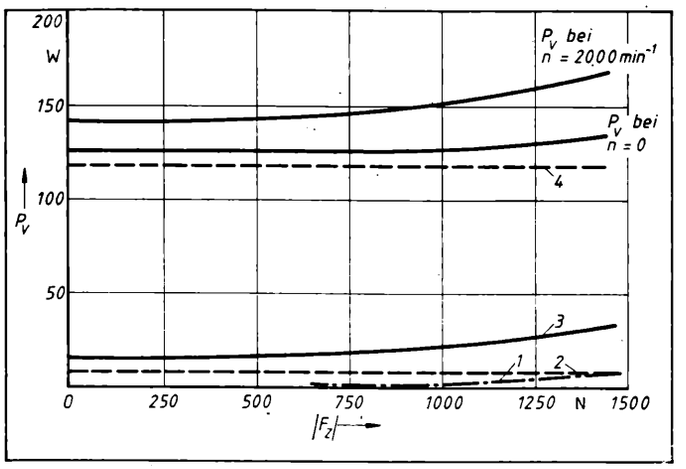


Bild 21a. Abschätzung — Gesamtverluste P_V als Funktion der Lagerkraft $|F_Z|$ bei einem Grunderregerstrom $I_e = 1$ A
Verlustanteile: 1 P_{VCuSt}; 2 P_{VCuG}; 3 P_{VFerot} bei $n = 2000$ min^{-1}; 4 P_{VFeSL}; $|F_Z| = \sqrt{F_{Zx}^2 + F_{Zy}^2}$

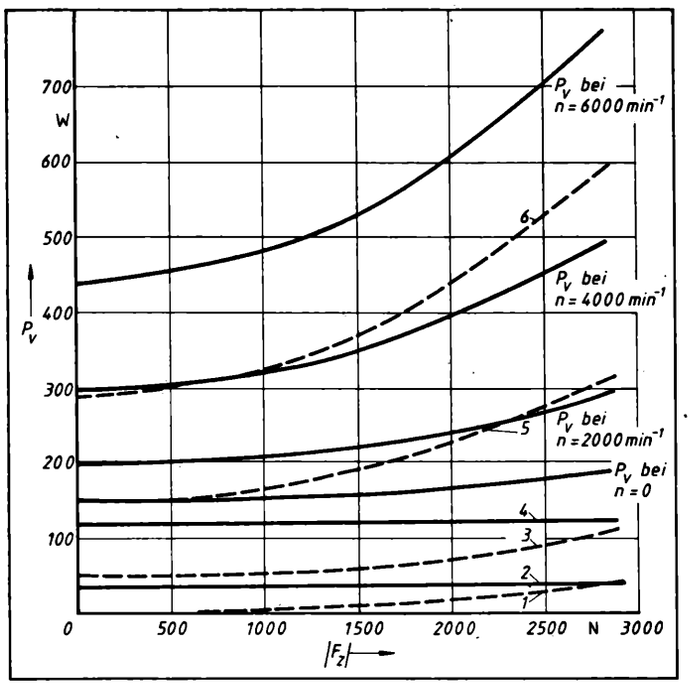


Bild 21b. Abschätzung — Gesamtverluste P_V als Funktion der Lagerkraft $|F_Z|$ bei einem Grunderregerstrom $I_e = 2$ A
Verlustanteile: 1 P_{VCuSt}; 2 P_{VCuG}; 3 P_{VFerot} bei $n = 2000$ min^{-1}; 4 P_{VFeSL}; 5 P_{VFerot} bei $n = 4000$ min^{-1}; 6 P_{VFerot} bei $n = 6000$ min^{-1}; $|F_Z| = \sqrt{F_{Zx}^2 + F_{Zy}^2}$

der k-ten Zone wird nach (39) berechnet:

$$P_{wbk} = k_{wbob}\,\sigma_{wb}\left(\frac{f}{50\,Hz}\right)^2 \cdot \left(\frac{B}{1\,T}\right)^2 \cdot m_k . \tag{39}$$

Die gesamten im Rotorblechpaket auftretenden Wirbelstromverluste ergeben sich aus der Summe der Verlustanteile von allen n Rotorzonen für beide Induktionskomponenten:

$$P_{Vwb} = \sum_{k=1}^{n} [P_{wbk}(B_r) + P_{wbk}(B_t)]. \tag{40}$$

Die Wirbelstromverluste werden durch unvollständige Blechisolation und Gratbildung erhöht. Diese von technologischen Einflüssen abhängige Erhöhung wird mit einem empirisch geschätzten Zuschlagsfaktor $k_{wbiso} \approx 1{,}5$ berücksichtigt. Der gesamte Zuschlagsfaktor bezüglich einer Rotorzone berechnet sich nach (41):

$$k_{wb} = k_{wbob}\,k_{wbiso} . \tag{41}$$

— Hystereseverlustanteil

Für jede einzelne Rotorzone mit konstantem Radius werden die Hystereseverluste in Radial- und Tagentialanteil getrennt berechnet. Auf Grund der besonderen Polfolge (NNSSNNSS) treten innerhalb einer Periode (bei 8poligem Tragesystem eine halbe Rotorumdrehung) teilweise Auf- und Abmagnetisierungen auf, die zur Erhöhung der Hystereseverluste beitragen. Diese Verlusterhöhung wird durch einen empirisch gewählten Zuschlagsfaktor k_{hum} berücksichtigt. Für die Wahl von k_{hum} liegt folgende Überlegung zugrunde:
Die von der Hystereseschleife eingeschlossene Fläche ist ein Maß für die Hystereseverluste.
Auf Grund der schlanken Form der Schleife und der Maßgabe, daß die Induktion B klein gegenüber der Sättigungsinduktion ist, wird für grobe Näherung $A \sim B^2$ angesetzt (A Hystereseschleifenfläche).
Die Gefügezerstörung an den Schnittkanten der Bleche führt ebenfalls zur Erhöhung der genannten Verluste. Dieser Einfluß wird mit dem Faktor $k_{hschn} = 1{,}5$ berücksichtigt:

$$k_{hk} = k_{hum}\,k_{hschn} . \tag{42}$$

Der Hystereseverlustanteil einer Induktionskomponente in der Rotorzone k berechnet sich nach (43):

$$P_{hk} = k_{hk}\,\sigma_h \frac{f}{50\,Hz}\left(\frac{B}{1\,T}\right)^2 m_k . \tag{43}$$

Die gesamten im Rotorblechpaket auftretenden Hystereseverluste betragen damit

$$P_{Vh} = \sum_{k=1}^{n} [P_{hk}(B_r) + P_{hk}(B_t)]. \tag{44}$$

Aus der rechnerischen Abschätzung der Wirbelstrom- und Hystereseverluste ergeben sich die Eisenverluste durch Rotation des Läuferblechpaketes zu

$$P_{VFerot} = P_{Vwb} + P_{Vh} . \tag{45}$$

Im Bild 20 werden die rechnerisch abgeschätzten Eisenverluste P_{VFerot} in Abhängigkeit von der Drehzahl für die Blechqualität 250-50A dargestellt. Diese nur bei Drehzahl $n \neq 0$ auftretenden Eisenverlustleistungen müssen dem Magnetlager in Form von mechanischer Leistung zugeführt werden. Sie sind das Äquivalent der Reibungsverluste von Wälz- und Gleitlagern, weil sie gleichfalls ein Bremsmoment erzeugen. Diese Tatsache wird zur Messung der genannten Verluste genutzt, indem durch Aufnahme der Auslaufkurven der Versuchswelle das Bremsmoment in Abhängigkeit von der Drehzahl ermittelt wird.
Für ein Magnetlager spielt der Verlustanteil P_{VFerot} eine besondere Rolle, weil diese Leistung ausschließlich im Rotor in Wärme umgesetzt wird. Da aber prinzipbedingt die Welle berührungslos gelagert wird, ist das Abführen dieser Wärme vorrangig auf Konvektion beschränkt.
Die gesamte im radialen aktiven Magnetlager auftretende Verlustleistung ergibt sich zu

$$P_V \approx P_{VCuG} + P_{VCuSt} + P_{VFeSL} + P_{VFerot} . \tag{46}$$

Im Bild 21 wird die gesamte Verlustleistung als Funktion des Betrages der Lagerkraft dargestellt. Diese Funktion zeigt deutlich, daß die Eisenverluste P_{VFeSL} und P_{VFerot} die dominierenden Anteile bilden. Die Verringerung dieser Verlustanteile erfordert den Einsatz von besonders eisenverlustarmen Elektroblechen. Für die Auswahl des Elektroblechs sind folgende Materialeigenschaften von besonderer Bedeutung:

— Magnetisierungskennlinie mit relativ großem linearem Bereich
— geringe spezifische Hystereseverluste
— niedrige spezifische Wirbelstromverluste
— keine Textur
— niedrige Remanenzinduktion und Koerzitivfeldstärke
— hohe Sättigungsinduktion.

Gleichzeitig muß aber deutlich gesagt werden, daß das Magnetlager Möglichkeiten in sich birgt, bei hohen Drehzahlen wesentlich weniger verlustleistungsintensiv zu sein als herkömmliche Lagerarten.

4. Resultate und Ausblick

4.1. Versuchsaufbau zur Erprobung eines Prototyps einer aktiven radialen Magnetlagerung

Der im Bild 22 schematisch dargestellte Versuchsaufbau ermöglicht die Untersuchung einer aktiven radialen Magnetlagerstelle. Die senkrechtstehende Welle wird in ihrem oberen Teil durch das aktive radiale Magnetlager fixiert. Dazu wird der in einem Aluminiumring eingepreßte Stator auf die obere Montageplatte eines senkrechtstehenden, gußeisernen Elektromotorengehäuses aufgesetzt (Bild 23) und nach dem Einsetzen der Welle mit einem Lagerdeckel aus Aluminium festgespannt. Die senkrechte Anordnung der Welle gewährleistet, daß von dem radialen Magnetlager keine Ge-

wichtskräfte aufgenommen werden müssen und somit im Untersuchungsobjekt übersichtliche Kraftverhältnisse zustande kommen. Auf diesem Deckel werden die berührungslosen Weg- bzw. Weg- und Geschwindigkeitsaufnehmer (Bild 24) befestigt.

An der Unterseite der oberen Montageplattform ist ein Gleitlager angeordnet. Als sogenanntes Notlauf- oder Fanglager verhindert es im Störungsfall und bei abnormen Betriebszuständen durch sein Spiel von $\pm$ 0,25 mm die direkte Berührung zwischen Rotor und Stator sowie eine Beschädigung der Sensoren durch unzulässige Wellenauslenkungen.

Im unteren Teil wird die Welle durch ein zweireihiges Radialpendelrollenlager fixiert, dessen Außenring an der unteren Montageplatte des Motorengehäuses befestigt ist. Es nimmt neben den radialen Kräften am unteren Wellenende auch die axialen Kräfte der Anordnung auf und ermöglicht dennoch eine ungestörte Pendelbewegung der Welle um ihren unteren Fixpunkt. Dadurch ist es tatsächlich das aktive radiale Magnetlager, das über die Lagerung der Welle im oberen Teil entscheidet.

Bild 25 zeigt die Versuchswelle und ihre Elemente sowie den Statorring.

Über ein am oberen Wellenende montiertes Rillenkugellager und einen am Motorleergehäuse montierten Ausleger kann die Magnetlagerstelle bei beliebigen Drehzahlen belastet werden.

Am unteren Wellenende wird die Antriebsleistung mit einer Wellenrohrkopplung vom Antriebsmotor zur Welle übertragen. Da der Motor nicht unmittelbar am Versuchsaufbau angeschraubt wird, kann die Schwingungsübertragung gering gehalten werden.

Alle anderen für die Funktion des aktiven Magnetlagers erforderlichen elektrischen und elektronischen Baugruppen sind in Kassetteneinschüben des EGS-Systems untergebracht, die an einem Gestellrahmen montiert wurden.

4.2. Resultate am Prototyp

Zum Abschluß sollen noch einige erreichte Ergebnisse vorgestellt werden. Für eine Anordnung mit den Elementen nach Tafel 3 und einer Struktur entsprechend Bild 14, die die einfachste funktionsfähige Lösung einer im regelungstechnischen Sinne stabilen Lagerung darstellt, wurden folgende Meßwerte ermittelt:

Stabiler Bereich $0{,}3 < k_R < 1{,}6$;

Statische Lagersteifigkeit
$S = 2{,}65$ N/µm bei $k_R = 1{,}1$,
$S = 3{,}2$ N/µm bei $k_R = 1{,}3$,
$S = 4{,}2$ N/µm bei $k_R = 1{,}6$.

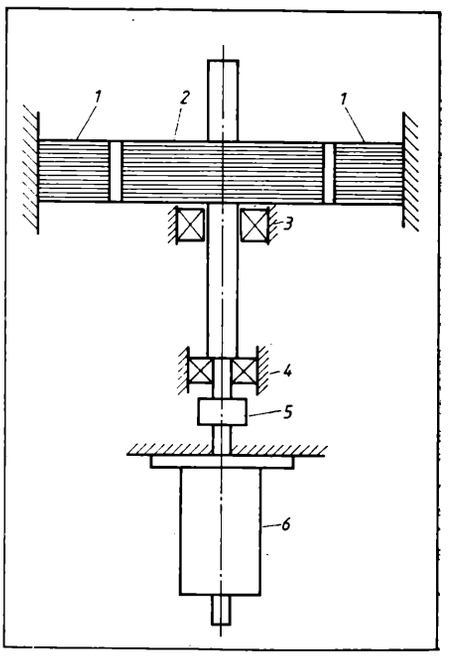
Innerhalb des untersuchten Drehzahlbereiches $0 \leqq n \leqq 3500$ min^{-1} ist keine Änderung der statischen Steifigkeit zu verzeichnen. Die aus der Wurzelortskurve berechneten Steifigkeitswerte betragen:

$S = 2{,}42$ N/µm bei $k_R = 1{,}0$,
$S = 3{,}62$ N/µm bei $k_R = 1{,}4$,
$S = 5{,}15$ N/µm bei $k_R = 1{,}9$.

Anhand der Steifigkeitswerte wird die Rechnung prinzipiell von der Messung bestätigt. Die an diesem Prototyp eines aktiven radialen Magnetlagers gemessenen Lagersteifigkeiten genügen jedoch nicht den Anforderungen, die an Lager für Pumpen und Verdichter oder im Werkzeugmaschinenbau gestellt werden. Die erreichten Ergebnisse sind jedoch eine Bestätigung der Entwurfskonzeption und -strategie und bieten eine gute Ausgangsposition für die schrittweise Weiterentwicklung des aktiven Magnetlagers. Zur Verbesserung der Lagereigenschaften sind insbesondere folgende Wege geeignet [7]:

— Verringerung der Verzögerungszeitkonstanten der Komponenten des Regelkreises (außer denen der Regelstrecke)

Bild 22. Mechanischer Versuchsaufbau (schematisch)
1 Ständerblechpaket; 2 Rotorblechpaket; 3 Gleitlager mit definiertem Luftspalt als Fanglager; 4 Pendelrollenlager; 5 Wellrohrkupplung; 6 Gleichstrommotor



— Einsatz verbesserter Regler- und Regelkreisstrukturen (Anwendung der Auslenkgeschwindigkeit (vgl. Abschn. 2.1.6.) des Magnetlagerrotors als stabilisierende Hilfsregelgröße, Verbesserung der Systemeigenschaften durch den Einsatz anderer Regelstrukturen, z. B. von PID-Reglern, u. a.)

— Präzisierung der Beschreibung der einzelnen Elemente des Regelkreises und ihres Zusammenwirkens

— Einbeziehung weiterer im Regelkreis noch vorhandener Zeitkonstanten in das Regelkreismodell.

Durch die zielgerichtete Fortführung des beschrittenen Weges konnte inzwischen die vollständig aktiv-magnetische Lagerung einer horizontalen Welle mit einer Masse von 110 kg realisiert werden und sowohl ein aktives axiales als auch radiales Magnetlager mit PID-Regler eine statische Steifigkeit von $\geqq 200$ N/µm und eine dynamische Steifigkeit von ≈ 20 N/µm erreichen.

Literatur

[8] *Scherer, J.; Arnold, W.; Schulze, H.:* Hochfrequenzspindel fräst schneller. VDI-Nachrichten (1982) 49, S. 11

[9] VHS Grinding Spindles with Actidyne, — Active Magnetic Bearings/S2M, Societe de Mecanique Magnetique. Vernon (Frankreich) April 1983, Firmenkatalog

[10] *Habermann, H.; Liard, G.:* Das aktive Magnetlager — ein neues Lagerprinzip. Kugellagerzeitschrift — Fachzeitschrift für Lagertechnik, Schweinfurt: SKF-Kugellagerfabriken GmbH, Nr. 192, S. 1—7

[11] *Habermann, H.:* Anwendungsbereich der aktiven Magnetlager. Schmiertechnik und Tribologie, Hannover 26 (1979) 2, S. 49—53

[12] *Habermann, H.; Katterloher, R.:* Aktive Magnetlager, Einsatz in der Kerntechnik. Technische Rundschau, Bern 70 (1978) 39, S. 5—7

[13] Das aktive Magnetlager — Actidyne/S2M. Societe de Mechanique Magnetique, Vernon — 3 S.

[14] *Schweitzer, G.:* Ein aktives magnetisches Rotorlager — Auslegung und Anwendung. Regelungstechnik, München 26 (1978) 1, S. 10—15

[15] *Hintz, H.:* Ein Beitrag zur magnetischen Lagerung rotierender Körper. Dissertation A. TU Braunschweig 1968

[16] *Ulbrich, H.:* Entwurf und Realisierung einer berührungsfreien Magnetlagerung für ein Rotorsystem. Dissertation A. TU München 1979

[17] *Draxler, A.:* Eigenschaften und Auslegung von berührungsfreien elektromagnetischen Lagern. Dissertation A. TH Zürich 1985

EA 5788

Bild 23. Auf die obere Lagerplattform montierte Magnetsysteme

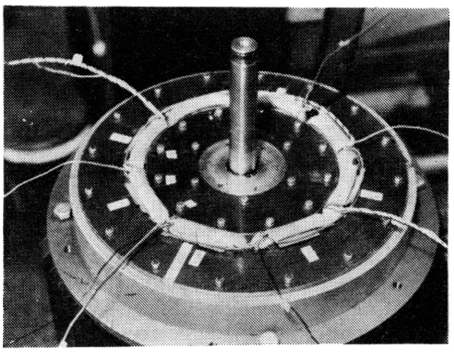


Bild 24. Anordnung der berührungslosen Weg- und Geschwindigkeitssensoren

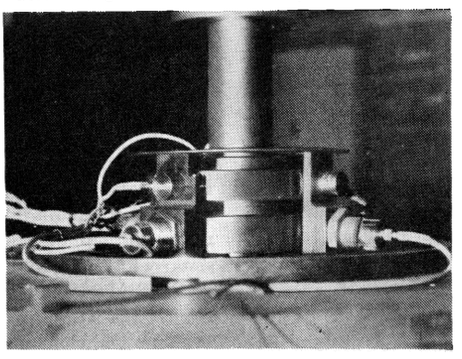
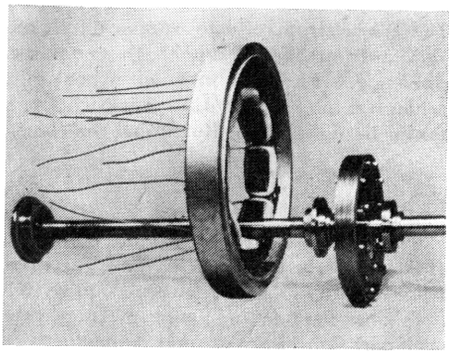


Bild 25. Versuchswelle und Stator (demontiert)



TAGUNGEN

Stand und Perspektiven der elektrischen Teilentladungsdiagnostik

290. Elektrotechnisches Kolloquium der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden am 11. 05. 1988

Referent: Prof. Dr. sc. techn. *E. Lemke*
Leitung: Prof. Dr. sc. techn. *E. Paulig*

Der Ausfall von Hochspannungsisolierungen wird häufig von Teilentladungsprozessen eingeleitet. Die Teilentladungsmeßtechnik hat sich deshalb zu einem wesentlichen Bestandteil der Prüfung und Diagnose von elektrotechnischen Anlagen und Ausrüstungen entwickelt.
Standardisierte Verfahren (IEC 270—1981) und entsprechende industriell gefertigte Meßtechnik (z.B. MTE 3 des VEB TuR Dresden) haben sich in der Prüftechnik bewährt. Betriebe und wissenschaftliche Einrichtungen der DDR haben dabei einen wesentlichen Anteil an der Entwicklung und Einführung der breitbandigen TE-Messung. Für Anwendungen in der Diagnostik bzw. Vor-Ort-Prüfung besteht der Nachteil konventioneller leitungsgebundener TE-Meßtechnik im Erfordernis der Einschaltung eines hochspannungsfesten Koppelkondensators in den Betriebsstromkreis des Prüfobjektes.
Die Erfassung des elektromagnetischen Strahlungsfeldes bietet deshalb neue Möglichkeiten für die TE-Messung bei der Inbetriebnahme und Zustandsüberwachung elektrischer Anlagen, wie z.B. Hochspannungsgeräte und Starkstromkabel. Das klassische Vorbild dieser Meßtechnik ist mit der von *Heinrich Hertz* 1888 zum Nachweis elektromagnetischer Wellen verwendeten Versuchsanordnung Funkeninduktor-Antenne gegeben. Für die TE-Diagnose besteht dabei das Hauptproblem in der Realisierung eines günstigen Nutz-Störsignal-Verhältnisses. Mit der Teilentladungsmeßsonde M 4202, einem Ergebnis der Forschungskooperation der TU Dresden und des VEB Robotron Meßelektronik „Otto Schön" Dresden, konnte zur Leipziger Frühjahrsmesse 1988 eine den Erfordernissen der TE-Diagnostik entsprechende Gerätetechnik vorgestellt werden.
Hauptbaugruppen der TE-Meßsonde sind eine aktive Breitbandantenne sowie eine Verarbeitungs- und Indikationsstufe. Die Breitbandantenne enthält zur Erfassung der TE-Signale ein Dreielektrodensystem, das hinter einem Meßfenster angeordnet die Kompensation des Fernfeldes ermöglicht. Die Gesamtschaltung ist so konzipiert, daß für Impulse mit Anstiegszeiten im Nanosekundenbereich eine maximale Empfindlichkeit erreicht wird. Die Verarbeitungs- und Indikationsstufe enthält den für TE-Messungen üblichen Breitbandverstärker, Integrator und Spitzenwertspeicher.
Untersuchungen an Transformatoren zeigten, daß die Selektivität der Meßanordnung auch ausreichend ist für eine Diagnose außerhalb des mit dem Transformatorenkessel gegebenen Faradayschen Käfig. Für den Einsatz der TE-Meßsonde auf Hochspannungspotential wurde die Übertragung des Meßsignals mittels Lichtwellenleiter zur Auswertetechnik erprobt.
Neben der bisher praktizierten periodischen TE-Diagnostik eröffnen sich auch Möglichkeiten einer permanenten Betriebsüberwachung an Objekten, die extrem hohe Betriebszuverlässigkeit erfordern.
Neben der Erfassung des TE-Signalpegels ist mittels der TE-Sonde auch eine Fehlerortung an verlegten Kabeln möglich.
In der anschließenden Diskussion standen Ergebnisse und Probleme der Applikation der TE-Meßtechnik im Mittelpunkt. Dabei sind Fragen eines zulässigen Pegels sowie der sicheren Beurteilung der Restlebensdauer der Isolation bei beginnenden Teilentladungen aus heutiger Sicht noch weitgehend offen und bedürfen weiterführender Untersuchungen.

E. Paulig, Dresden EA 2877

Fachtagung „Leistungselektronik"

Am 17. und 18. Mai 1988 fand die vom Fachunterausschuß 1.10 des Fachverbandes Elektrotechnik und vom VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin gemeinsam mit dem Bezirksverband Leipzig der Kammer der Technik organisierte 5. Fachtagung „Leistungselektronik" in Leipzig statt.
In einem Plenarvortrag, 5 Übersichts- und 23 Fachvorträgen wurden von profilierten Vertretern der Industrie und Hochschulen der erreichte Stand und die Tendenzen der weiteren Entwicklung der Stromrichtertechnik diskutiert. Der Umfang der behandelten Probleme unterstrich nachdrücklich die große Bedeutung der Leistungselektronik auch für die DDR. So wurden Anwendungen diskutiert, die vom stromrichtergespeisten Schiffshauptantrieb über Antriebsstromrichter für Hebezeuge, statische Erregereinrichtungen für Synchronmaschinen, Pulswechselrichter, Thyristor-Schweißumrichter, Stromrichterausrüstungen für Vakuum-Bedampfungsanlagen bis zu digitalen Ansteuer- und Regelverfahren reichten. Der Einfluß der Mikroelektronik auf die Leistungselektronik hält unvermindert an und zeigt sich besonders in der

— Verbesserung konventioneller und Entwicklung neuartiger leistungselektronischer Bauelemente
— Verwendung der erweiterten Mikrorechentechnik in der Informationseinrichtung (Ansteuerung, Regelung, Inbetriebnahme, Diagnose usw.)
— Nutzung der Rechentechnik für die Analyse und in Zukunft auch verstärkt für den Entwurf leistungselektronischer Stellglieder bis hin zu kompletten Antriebssystemen.

In mehreren Vorträgen wurde deutlich, daß die mit der 8-bit-Generation in den unterschiedlichsten Anwendungen gemachten Erfahrungen (z.B. USV, Pulswechselrichter, Lokomotivantrieb mit DC-Chopper) positiv sind, wenn auch die erreichten Leistungsgrenzen den verstärkten Übergang zu Systemen mit höherer Verarbeitungsbreite und -geschwindigkeit erforderlich machen. Die mit stark wachsender Bedeutung entwickelte Drehstromantriebstechnik verfügt über durchdachte Schaltungskonzepte, doch es gibt große Anstrengungen durch den Einsatz moderner Bauelemente im Informations- und Leistungsteil, den Schaltungsaufwand und die Verluste im Stromrichter zu minimieren.
Speziell von den Vertretern der Hochschulen wurden unterschiedliche Programmpakete vorgestellt, die es gestatten, das leistungselektronische Stellglied, die dazugehörigen Ansteuer-, Regel- und Schutzeinrichtungen zu simulieren oder z.B. das Betriebsverhalten der Asynchronmaschine bei Speisung von Zwischenkreis-Wechselrichtern zu berechnen (harmonische Analyse, Stromkomponenten und -verdrängung, Pendelmomente usw.). Es zeigt sich, daß trotz der heute erreichten Leistungsfähigkeit der Rechentechnik ein universelles Programm, das alle Erfordernisse für den genannten Aufgabenkomplex in sich vereint, nicht Ziel der Entwicklung war und sein sollte, weil neben der reinen Machbarkeit auch solche Gesichtspunkte, wie Handhabbarkeit, Änderbarkeit u.a. mehr berücksichtigt werden müssen.

H. Güldner, Dresden EA 2857

Isolierung — Ummagnetisierung

137. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt am 30. Juni 1988

Zu diesem Ehrenkolloquium anläßlich des 65. Geburtstages des Herrn Doz. Dr. sc. techn. *Gerhard Morgenstern* hatten der Sektionsdirektor Prof. Dr. sc. techn. *Wächter* und der Vorsitzende der KDT-Sektionsgruppe Automatisierungstechnik Prof. Dr. sc. techn. *Fritzsch* viele Fachkollegen eingeladen.
In seiner Laudatio schilderte und würdigte der Dekan der Fakultät für Elektroingenieurwesen Prof. Dr. sc. techn. *Budig* den Entwicklungsweg des Jubilars von der Aufnahme des Physikstudiums an der Karl-Marx-Universität Leipzig, seinem Studium in der Fachrichtung Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden sowie seine zwölfjährige Forschungs- und Entwicklungsarbeit als Leiter des Hochspannungslabors im VEB Keramische Werke Hermsdorf. Nicht unerwähnt blieb dabei die nebenamtliche Tätigkeit Dr. *Morgensterns* als Ingenieurschuldozent sowie die auf seine Promotion A folgende Berufung als Hochschuldozent an die Bergakademie Freiberg für elektrische Anlagen am Lehrstuhl von Prof. *Vrana*. Auf Grund der im Zuge der Hochschulreform erfolgten Verlagerung der Elektrotechnikausbildung von Freiberg an die Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt erfolgte schließlich die Berufung Dr. *Morgensterns* als Dozent für Elektrotechnik an unsere Bildungseinrichtung. Am Lehrstuhl „Antriebstechnik und -mittel" von Prof. *Budig* befaßte sich Dr. *Morgenstern* mit Ausbildungsaufgaben auf dem Gebiet der Elektrotechnik, und zwar vorwiegend für Studenten der Maschinenbausektionen und der Wirtschaftswissenschaften. Ende der 70er Jahre erstellte Dr. *Morgenstern* seine Promotion B und verteidigte sie 1980 erfolgreich.
Sowohl als Gewerkschaftsvertrauensmann als auch als Vertreter der Sektion im Wohnbezirksausschuß leistete Dr. *Morgenstern* wertvolle gesellschaftliche Arbeit.
Prof. Dr. sc. techn. *Degner* würdigte im Auftrag des Dekans für Maschineningenieurwesen, Prof. Dr. sc. techn. *Wolf*, die langjährigen erfolgreichen Bemühungen um eine fundierte Elektrotechnikausbildung der Studenten des Maschineningenieurwesens. Er hob dabei besonders die Aufgeschlossen-

heit des Jubilars gegenüber modernen Entwicklungen der Mikroelektronik hervor, deren Aspekte stets entsprechend dem internationalen Wissensstand unmittelbar in den Vorlesungsstoff einbezogen wurden. Prof. *Degner* verwies außerdem darauf, daß sich Dr. *Morgenstern* im Rückblick auf eine 17jährige fruchtbringende Zusammenarbeit unter den Fachkollegen des Maschineningenieurwesens stets hoher Wertschätzung erfreuen kann.

Der Jubilar vermittelte in einem Referat unter dem Thema „Einige Ergebnisse der Hochspannungskeramik und Isolierstoffforschung" dem Hörerkreis einen Überblick der Aufgabenstellungen, die unter seiner Leitung im Hochspannungslabor bearbeitet wurden. Dabei standen die Probleme der Funktionstüchtigkeit und Herstellung von Langstabisolatoren ebenso wie Verschmutzungs- und Feuchtigkeitseinflüsse sowie Entladungseffekte am Schirmrand (speziell bei Unterdruck), Ermüdungserscheinungen und Durchschläge im Mittelpunkt. Aber auch Fragen des Hochspannungs-Kabelendverschlusses sowie der Lichtbogenlenkung kamen zur Sprache. Außderem berichtete Dr. *Morgenstern* über die Energieumsetzung in SiC-Scheiben und Untersuchungen zum Überspannungsschutz im Elektronenstrahl-Mehrkammerofen (Forschungsinstitut Manfred v. Ardenne).

In einem Coreferat sprach Dozent Dr. sc. techn. *Steinbach*, der künftig die Elektrotechnikausbildung der Studierenden des MIW durchführt, über „Die Ummagnetisierungsverluste in Dynamobändern für elektrische Maschinen".

Bedingt durch die Tendenz der Speisung elektrischer Maschinen durch leistungselektronische Einrichtungen mit höheren Frequenzen spielen in Zukunft die Ummagnetisierungsverluste in Dynamobändern verschiedener Qualitäten bei der weiteren theoretischen Durchdringung der Vorgänge in elektrischen Maschinen eine bedeutsamere Rolle. Da außerdem durch nichtsinusförmige Spannungen Oberschwingungen höherer Frequenzen in die Motoren eingebracht werden, rücken Untersuchungen und Anwendung von Dynamobändern mit niedrigen Ummagnetisierungsverlusten sowie die genauere Kenntnis dieser Verluste bei höheren Frequenzen stärker in den Mittelpunkt des Interesses.

Zunächst beschrieb Dr. *Steinbach* unter Verwendung von Diapositiven Struktur und Aufbau einer geeigneten Meßanordnung. Besondere Bedeutung hat neben der elektronischen Meßwertverarbeitung die Gewinnung der Meßsignale für magnetische Induktion und Feldstärke. Aufbau und Wirkungsweise des verwendeten Sensors (2-Streifen-Joch nach *Koppelmann*) wurden ebenso wie Möglichkeiten der Anpassung des R/X-Verhältnisses verschiedener Meßverfahren durch Zuschaltung von ohmschen Widerständen vorgestellt.

Das verwendete rechnergestützte Meßgerät gestattet die Messung der magnetischen Größen in Frequenz- und Feldstärkebereichen, die mit herkömmlichen Meßverfahren nicht erreicht wurden bzw. sehr hohen gerätetechnischen Aufwand erforderten. So lagen

— Frequenz zwischen 20 und 1600 Hz
— Feldstärke zwischen 0,5 und 350 A/cm
— Induktion zwischen 0,2 T und Sättigungsinduktion,

wobei eine hohe Reproduzierbarkeit im gesamten Meßbereich nachgewiesen wurde. Im weiteren stellte der Referent Meßergebnisse vor und diskutierte

— Frequenzabhängigkeit der Ummagnetisierungskurven
— Abhängigkeit der Ummagnetisierungsverluste von Legierungsbestandteilen (Si- bzw. Al-Gehalt) sowie
— Abhängigkeit der spezifischen Verluste von der Walzrichtung.

Abschließend ging Dr. *Steinbach* auf die Approximation der Meßergebnisse ein, stellte gute Annäherung von theoretischer Ermittlung und experimentellen Ergebnissen bei der Formel nach *Steinmetz* fest und zog Schlüsse hinsichtlich der einzusetzenden Werkstoffqualitäten.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2878

Zur Effektivität in Forschung, Entwicklung und Ausbildung

138. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt am 21. Juli 1988

Im Auftrag des Sektionsdirektors begrüßte der Stellvertretende Sektionsdirektor für Erziehung, Aus- und Weiterbildung, Prof. *Olbrisch*, die Anwesenden zu diesem Ehrenkolloquium anläßlich des 60. Geburtstages des Dekans für Elektroingenieurwesen und Wissenschaftsbereichsleiters, Nationalpreisträger Prof. Dr. sc. techn. *Peter-Klaus Budig*.

In seiner Laudatio zeichnete Prof. *Olbrisch* den Entwicklungsweg Prof. *Budigs* nach. Nach seinem Abitur führte ihn 1948 die Immatrikulation an der Technischen Hochschule Dresden mit Prof. *Olbrisch* zusammen. Auf Grund dessen konnte er an eine Vielzahl gemeinsamer Erlebnisse in der Studienzeit erinnern und sprach über profilierte Hochschullehrer auf dem Gebiet der Elektrotechnik und des Maschinenbaus.

Nach seinem Diplom erfüllte der Jubilar als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Starkstromtechnik der Technischen Hochschule Dresden eine Reihe von Lehraufgaben, bis er 1954 im VEB Sachsenwerk Dresden seine gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen begann.

1966 als Honorarprofessor an die Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt berufen, vermittelte er auch sein Wissen der jungen Generation und widmete sich der Forschung.

Ab 1968 ordentlicher Professor und Direktor der neugegründeten Sektion Automatisierungstechnik, gestaltete er in kluger Voraussicht eine komplette entwicklungstechnologische Einheit von der Kybernetik bis zur Antriebstechnik.

Hervorragende Forschungsleistungen, die durch Auszeichnung mit dem Nationalpreis, dem Vaterländischen Verdienstorden und anderen staatlichen Auszeichnungen gewürdigt wurden, fanden Niederschlag in der Ausbildung.

Das Bild wäre nicht vollständig, wenn das gesellschaftliche und politische Engagement keine Erwähnung finden würde.

Seit 1984 ist der Jubilar als Dekan der Fakultät Elektroingenieurwesen der TU Karl-Marx-Stadt aktiv an der Neugestaltung der Grundlagenausbildung Elektrotechnik beteiligt. Die Aufzählung von Aktivitäten ließe sich noch sehr weit ausführen, jedoch ist es nicht möglich, bei der Schilderung des Entwicklungsweges eines nationalbedeutenden und international anerkannten Wissenschaftlers alle Stationen und Leistungen gebührend darzulegen.

Schließlich wandte sich Prof. *Olbrisch* in seiner Laudatio mit Dankesworten auch an die Ehefrau des Jubilars, die geeignete Randbedingungen und wichtige Voraussetzungen für einen derart erfolgreichen Arbeitsstil geschaffen hat, und schloß mit den Worten: „Möge unser Jubilar noch lange zum Nutzen unserer Volkswirtschaft und zum Nutzen unserer Technischen Universität wirken".

Als Absolvent dieser Bildungseinrichtung, ehemaliger Forschungsstudent und Schüler Prof. *Budigs* berichtete der Direktor für Wissenschaft und Technik des Kombinates LEW „Hans Beimler" Hennigsdorf, Dr.-Ing. *E. Martin*, über

„Material- und energieökonomische Effekte durch Mikro- und Leistungselektronik".

Der Referent formulierte es als sein Anliegen,

1. dem Auditorium den großen Einfluß, die Wirksamkeit Prof. *Budigs* auf die Entwicklung der Elektrotechnik und Elektrotechnologien im Kombinat LEW zu veranschaulichen, deutlich zu machen, daß in schwierigen Phasen der Bewertung und Entscheidung auf seinen fachlichen Standpunkt und seine klare Meinung zurückgegriffen werden konnte;
2. ganz persönlich vor ihm als seinem Lehrer Rechenschaft abzulegen über seine langjährige Tätigkeit in der Industrie sowie gleichzeitig zu danken für viele fachliche und auch persönliche Ratschläge, die er vom Jubilar erhalten hat.

Nach einem Überblick über das Erzeugnisprofil des größten Leiterplattenproduzenten Europas konstantierte er, daß bei einem Anteil von über 50 % an Erzeugnissen mit Gütezeichen „Q" jährlich zweistellige Steigerungsraten durchgesetzt und dabei Exportvolumina von über 50 % in über 30 Länder dieser Welt, unter anderem auch in die USA und nach Japan, realisiert werden.

Im Zuge des Elektrifizierungsprogramms entstand eine neue Vollbahnlokomotive, neue Industrielokomotiven sowie Nahverkehrsfahrzeuge für die Hauptstadt der DDR, aber auch für den Export. Schwerpunkt der gegenwärtigen Entwicklung ist eine neue Generation von Schienentriebfahrzeugen. Das Kombinat LEW hat im Triebfahrzeugbau eine langjährige Tradition. Seit 1949 verließen über 12 500 Triebfahrzeuge das Werk. Anfang dieses Jahres wurde die tausendste Elektrolok mit 3400 kW Nennleistung an die Deutsche Reichsbahn ausgeliefert.

Zur Mitbestimmung des internationalen Spitzenniveaus durch die neue Generation der Schienentriebfahrzeuge stehen drei charakteristische Merkmale im Vordergrund:

1. Neue Qualität in Komfort und Design
   Darunter ist nicht nur die Ausstattung mit Luftfederung, sowie mit Schwenkschiebetüren zu verstehen, sondern auch neue Lösungen in der Kabine, wie z. B. für eine Magnetschwebebahn unter Ver-

wendung prinzipiell neuer Werkstoffe, neuer Profile und neuer Technologien.

2. Hochgeschwindigkeit
   Im Personenverkehr 200 km/h, im Güterverkehr 160 km/h sind die Norm, die in den 90er Jahren gilt.
3. Neues Antriebskonzept, insbesondere durch Drehstromantriebstechnik
   Zur Durchsetzung einer prinzipiellen Leistungssteigerung muß eine vierachsige Lokomotive mit Asynchronmotoren sowohl für schweren Güterverkehr als auch für schnellen Personenverkehr einsetzbar sein.

Das Sortiment der Isolierstoffe für die Elektrotechnik umfaßt sehr unterschiedliche Materialien. Auch diese Problematik wurde in der Gruppe Elektrotechnik des Forschungsrates der DDR, deren Vorsitzender der Jubilar ist, intensiv beraten. Im einzelnen ging der Referent auf Fragen der technologischen Intensivierung der Produktion von Glimmerisolierstoffen ein und betonte die Zusammenarbeit mit der chemischen Industrie bei der Entwicklung neuartiger Isolierstoffe (z. B. bindemittelarmer Bänder mit höherer Wärmebeständigkeit).

Das Erzeugnissortiment des Kombinates umfaßt aber auch Produkte der industriellen Elektrowärme, wie widerstandsbeheizte Öfen, Induktionsöfen, Erwärmungsanlagen, Elektronenstrahlschmelz- und Bandbedampfungsanlagen. Dabei sind Typensortiment und Anforderungen der Bedarfsträger außerordentlich umfangreich. Trotz konsequenter Standardisierungsmaßnahmen ist eine weitere Reduzierung der Typen und Baugruppen unerläßlich, wobei strategische Schwerpunkte sein müssen:

— Hochtemperaturöfen zur Herstellung neuer Keramikwerkstoffe
— Weiterentwicklung der Induktionsschmelzöfen, insbesondere für höheren Leistungseintrag und
— Weiterentwicklung der Hochtechnologien Elektronenstrahlschmelzen und Bedampfen.

Nicht unerheblich sind auch die Aufgaben auf dem Gebiet der Widerstandsschweißtechnik, wobei international bestimmendes Niveau bei Abbrennstumpfschweißmaschinen sowie in der Fertigung kompletter Schweißanlagen oder Schweißanlagen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen aufzuweisen ist.

In diesem Zusammenhang kam, wie auch an anderer Stelle, die große Bedeutung der Zusammenarbeit mit Universitäten, Hochschulen und Industriepartnern.

Abschließend ging Dr. *Martin* auf die aus ökologischen Forderungen abgeleiteten Konzepte bei der Entwicklung galvanischer Einrichtungen ein. Der dargelegte Ausschnitt des Aufgabenbereiches im Kombinat LEW zeigt, daß ein weiter Horizont interdisziplinären Wissens und Denkens, Durchsetzungsvermögen und Überzeugungskraft, Beharrlichkeit und Ausdauer und nicht zuletzt Idealismus neben gründlichem Ingenieurwissen und methodischer Klarheit erforderlich sind, um sowohl in der industriellen Praxis als auch auf dem Gebiet der Aus- und Weiterbildung die notwendige Basis für eine progressive Entwicklung zu schaffen.

Den folgenden Vortrag

„Drehstrommehrmotorenantriebe mit Zwanglaufverhalten" begann Prof. *Budigs* Oberassistent, Dr.-Ing. *K. Klinger*, mit einem kurzen Rückblick auf das Ende der 60er Jahre, als er selbst als Student des 4. Studienjahres Prof. *Budig* kennenlernte. Die erste von Prof. *Budig* gestellte Diplomaufgabe durfte er bearbeiten. Nach 20jähriger Arbeit unter Leitung des Jubilars betrachtet es Dr. *Klinger* als eine hohe Ehre, dieses Jubiläumskolloquium mitgestalten zu dürfen.

Die vorgestellte Antriebslösung basiert auf einem Drehstromantrieb mit vollständig digitaler Informationsverarbeitung. Die im Be- und Verarbeitungsmaschinenbau oftmals geforderten Zwangslaufeigenschaften werden bei konventionellen Maschinen durch einen Zentralantrieb mit umfangreichen Getriebemechanismen realisiert. Diese Lösungen sind material-, wartungs-, lärmintensiv und verschleißbehaftet. Es ergeben sich zusätzliche Einschränkungen im Arbeitsbereich und hohe Umrüstzeiten. Der Einsatz der Mikroelektronik für derartige Antriebsaufgaben ermöglicht den Abbau von Nachteilen der Getriebemechanismen.

Bei diesem neuartigen Mehrmotorenantrieb übernimmt ein Leitrechner die gesamte Steuerung mehrerer drehstrommotorgetriebener Arbeitsaggregate. Eine Drehstromantriebsachse beinhaltet einen Achsrechner — auch Reglerrechner genannt —, einen Pulswechselrichter, eine Drehstromkurzschlußläufermaschine und einen digitalen Meßwertgeber. Da der Leitrechner die gesamte Maschinensteuerung übernimmt, muß er in der ersten Phase — der Arbeitsvorbereitung — die Initialisierung des Rechners selbst sowie die Steuerung der Achsrechner und Wechselrichter realisieren. Über Tastatur erfolgt die Eingabe der Prozeßparameter, die sowohl vom Rechner auf Sinnfälligkeit überprüft als auch vom Bediener am Monitor kontrolliert werden. Damit während des technologischen Ablaufes eine schnelle Sollwertberechnung erfolgen kann, werden im Arbeitsvorbereitungsprogramm Daten für den Prozeßablauf berechnet und im Speicher abgelegt. Da das Steuerprogramm den Rechner nur zu etwa 60 % auslastet, kann die verbleibende Rechenzeit für Dienstleistungsprogramme genutzt werden (Anzeige prozeßinterner Daten, Diagnose usw.).

Im weiteren erläuterte Dr. *Klinger* die Zwanglaufbedingungen des technologischen Prozesses sowie die Datenverarbeitung und Einflußnahme auf den Spulenantrieb und einzelne Prozeßparameter und ging auf Probleme der Übergangsfunktion der Beschleunigung, der Adreßrechnung sowie notwendige spezifische Zusatzbaugruppen zur Wagensteuerung sowie auf die Reglerfunktion und weitere Besonderheiten des Leitrechners auf der Basis des K 1520 ein.

Die Drehstromasynchronmaschine der einzelnen Achse wird feldorientiert gesteuert gefahren, wobei die Berechnung der Steuerwerte für den Pulswechselrichter und die Drehzahlregelung durch den Achsrechner realisiert wird.

Hervorzuheben sind dabei die erzielten Anregelzeiten von 40 ms bei Drehzahlsprung von 0 auf 1000 min^{-1} sowie im Reversierbetrieb von $+1500$ auf -1500 min^{-1} in 110 ms. Das entspricht durchaus Werten, die mit Gleichstromantrieben vergleichbar sind.

Die vorgestellte und beschriebene Antriebslösung wurde in Zusammenarbeit mit den Kombinaten Textima und Elektromaschinenbau an einem Flyer verwirklicht.

Auf die erzielten Ergebnisse verweisend und die höhere Flexibilität sowie den besseren Automatisierungsgrad hervorhebend bedankte sich Dr. *Klinger* abschließend bei Prof. *Budig*, unter dessen Leitung das Kollektiv, unterstützt durch Ingenieurpraktikanten und Diplomanden, diese erfolgreiche Antriebslösung entwickelte. Nach Worten des Dankes an Studenten, Mitarbeiter, ehemalige Schüler, Freunde und Fachkollegen sowie Referenten stellte der Jubilar in seinem Vortrag

„Betrachtungen zur Einheit von Lehre und Forschung" an.

Nach einem inhaltlichen Vergleich seines eigenen Hochschulstudiums vor vierzig Jahren mit den derzeitigen Studienplänen hob Prof. *Budig* hervor, daß deutliche Profiländerungen zu verzeichnen sind, wobei Fächer, wie Chemie, Werkstoffkunde, Maschinenkunde, Maschinenelemente, Maschinenlabor zugunsten der Kybernetik/Systemtechnik und Mikroelektronik/Informatik zurückgedrängt wurden. Mit der neuen Arbeitsweise des Ingenieurs, die auf den Möglichkeiten der Simulation und Rechentechnik basiert, sind in der Ausbildung in größerem Maße Fragen der technischen Kybernetik/Systemtechnik sowie mikroelektronischer Schaltungen und Bauelemente sowie Informatik notwendig geworden.

Neben den herkömmlichen Säulen der Grundausbildung — Mathematik, Naturwissenschaften, Konstruktionswissenschaften, Elektrotechnik/Elektronik — ist eine völlig neuen Säule entstanden, deren Zeitlimit zu Lasten der konstruktiv-technologischen Ausbildung geht. Da der Konstruktionsprozeß auch in Zukunft ein Prozeß sein wird, den nicht der Automat, sondern der Mensch vollzieht, stehen wir gegenwärtig vor der Aufgabe, in der Lehre die Fragen neuer Methoden des technischen Gestaltens zu überdenken und als Basis dazu das räumliche Vorstellungsvermögen besser auszuprägen. Dabei erinnerte der Jubilar daran, daß während seines Studiums kein geringerer als Prof. *Heidebröck* persönlich das technische Zeichnen gelehrt hat.

Auf die Fragen der Heranbildung und Rolle von Fachspezialisten, deren ständige Weiterbildung, der Bedeutung von Expertensystemen und des künftigen Einsatzes von Hochschulkadern in der Industrie folgten Ausführungen zur Veränderung der Entwicklung solcher Fachgebiete, wie Politische Ökonomie, Planung und Organisation sowie Arbeitswissenschaften und Sozialistische Betriebswirtschaft, ohne deren Erkenntnisse heute kein Absolvent der Technikwissenschaften in die Praxis geht.

Schließlich verwies Prof. *Budig* darauf, daß mit der Einführung der neuen Studienpläne ab September 1988 im Elektroingenieurwesen eine neue Etappe beginnt, bei der die Studenten in hoher Eigenverantwortung an der inhaltlichen Gestaltung mit einem großen Maß an Selbständigkeit mitwirken werden.

Ausdruck, daß die junge Generation alle diese Gedanken, die auch mit der neuen Ausbildung im Mittelpunkt der Diskussion stehen, gern aufgreifen und weiterentwickeln wird.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2899

KURZBERICHTE

Metrologie in Indien

• Gesetzliche Grundlagen

Nach der indischen Verfassung unterliegt das Erstellen von Standards für Maße und Gewichte der Zentralregierung. Der Wirkungsbereich der gesetzlichen Metrologie war und ist in Indien von Staat zu Staat unterschiedlich. Während in einigen Staaten fast alle praktischen Größen der gesetzlichen Metrologie unterliegen, beschränkt sich in anderen Staaten die gesetzliche Metrologie nur auf einige wenige Größen, wie Masse, Länge und Volumen.

Ein Entwurf der „Verordnung über Standards für Gewichte und Maße" von 1976, die aus einer gesetzlichen Verordnung von 1956 hervorgeht, entspricht dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik sowie dem Internationalen Einheitssystem (SI). Dieser Entwurf erweitert wesentlich die Reichweite der gesetzlichen Kontrolle, um den steigenden Anforderungen der Ökonomie gerecht zu werden sowie eine Einheitlichkeit der gesetzlichen Metrologie in allen 22 Staaten Indiens zu sichern. Die Verordnung enthält unter anderem detaillierte Vorschriften zur Festlegung der Hierarchie der Normale im Lande. Sie schließt Maße und Meßinstrumente des kommerziellen Gebrauchs, der industriellen Anwendung, der geschäftlichen Transaktion und Größen zum Schutz menschlicher Gesundheit und Sicherheit ein.

Im einzelnen enthält diese umfassende Gesetzgebung folgende Richtlinien:

Standards für Gewichte und Maße

— Nationale Standardvorschrift

— Allgemeine Vorschrift

— Numerierungsvorschrift

— Vorschrift für verpackte Waren

— Zwischenstaatliche Beglaubigungs- und Stempelvorschrift der indischen Staaten untereinander

— Muster-Genehmigungs-Vorschrift

— Verordnung über das Indische Institut für Gesetzliche Metrologie

• Das National Physical Laboratory

Am 21. 1. 1950 wurde in New Delhi das National Physical Laboratory (NPL) gegründet.

Die Aufgabe des NPL besteht in der Beschleunigung und Stärkung der physikalisch orientierten Forschung und der allseitigen Entwicklung von Wissenschaft und Technik in Indien. Das NPL trägt die Verantwortung für die Schaffung, Bewahrung, Weitergabe und Einhaltung der staatlichen Etalons entsprechend dem internationalen wissenschaftlichen Höchststand auf der Basis des SI-Einheitensystems. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Basiseinheiten Meter, Kilogramm, Sekunde, Joule, Ampere, Kandela und verschiedene abgeleitete Größen gelegt.

Darstellungsverfahren der Etalons und ihre seit 1984 erreichten Genauigkeiten sind in Tafel 1 angegeben.

Zur Weitergabe der staatlichen Etalons wurden Referenz- und Arbeitsnormale ge-

Tafel 1. Gegenwärtiger Stand der nationalen Normale in Indien
(Übersetzung einer veröffentlichten Tabelle des NPL über „Present status of National Standards" of measurements at N.P.L.)

Größe (Einheit)	Normale/angewendete Technik		derzeitige Genauigkeit
a) Basiseinheiten			
Länge (Meter)	1. ^{86}Kr-Lampe		$5 \cdot 10^{-9}$
	2. mit Jod stabilisierter He-Ne-Laster		$5 \cdot 10^{-9}$
Zeit (Sekunde)	1. Gruppe transportabler Cs-Atomuhren		$7 \cdot 10^{-13}$
	2. Rubidium-Frequenznormale		$1 \cdot 10^{-11}$
Masse (Kilogramm)	1. Kopie Nr. 57 des internationalen Kilogrammprototyps		$2 \cdot 10^{-9}$
	2. Präzisionswaagen		$1 \cdot 10^{-7}$
Elektrische Stromstärke (Ampere)			
1. Gleichstromspannung (Volt)	Gruppe von Weston-Normalelementen (Vergleich mit dem Josephson-Spannungsnormal ist in Entwicklung)		$5 \cdot 10^{-7}$
2. Gleichstromwiderstand (Ohm)	Gruppe von 1-Ohm-Normalwiderständen bezogen auf einen berechenbaren Kondensator		$6 \cdot 10^{-7}$
Lichtstärke (Candela)	Gruppe von Normallampen (kalibriert vom BIPM)		$1{,}5 \cdot 10^{-3}$
Temperatur (Kelvin)	Fixpunkte der Internationalen praktischen Temperaturskale		
	1. Siedepunkt des Sauerstoffes	(90,188 K)	± 0,002 K
	2. Tripelpunkt des Wassers	(273,16 K)	± 0,005 K
	3. Siedepunkt des Wassers	(373,15 K)	± 0,001 K
	4. Zinnpunkt	(505, 1181 K)	± 0,001 K
	5. Zinkpunkt	(692,73 K)	± 0,001 K
	6. Silberpunkt	(1235,08 K)	± 0,1 K
	7. Goldpunkt	(1337,58 K)	± 0,1 K
b) abgeleitete Einheiten			
Kraft (Newton)	1. Kraft-Normalmeßeinrichtung mit direkter Massewirkung bis 100 kN		$2 \cdot 10^{-5}$
	2. Kraft-Normalmeßeinrichtung mit Hebelübersetzung bis 1 MN		$1 \cdot 10^{-4}$
Winkel (Radiant)	1. 12-flächiges Spiegelpolygon		5 µrad
	2. Drehtisch zum Einrasten und Autokollimationsfernrohr (bis zu 2 π rad)		20 µrad
Druck (Pascal)	1. Flüssigkeitsmanometer (10^5 Pa)		$5 \cdot 10^{-5}$
	2. Mikromanometer (10 Pa)		$1 \cdot 10^{-4}$
	3. Manometer nach *McLeod* (1 Pa)		$1 \cdot 10^{-4}$
	4. ausheizbares Vakuummeter nach *McLeod* (10^{-1} Pa bis 5 10^{-4} Pa)		$2 \cdot 10^{-3}$
Lichtstrom (Lumen)	Gruppe von Normallampen (kalibriert vom BIPM)		$1{,}5 \cdot 10^{-3}$
elektrische Kapazität	1. vertikaler berechenbarer Kondensator (0,5 pF)		$5 \cdot 10^{-7}$
	2. Normal-Kondensatoren (mit Silizium und Luft als Dielektrikum)		$5 \cdot 10^{-7}$ bis $5 \cdot 10^{-6}$
Induktivität (Henry)	Induktivitätsanormale 10 mH		$5 \cdot 10^{-5}$
	10 H bis 1 mH und 1 H		$5 \cdot 10^{-4}$
niederfrequente Wechselspannung (Volt)	1. Vielfach-Thermoumformer		$1 \cdot 10^{-5}$
	2. Thermoelektrischer Komparator		$5 \cdot 10^{-5}$
niederfrequentes Wechselspannungsverhältnis	induktiver Spannungsteiler (20 Hz bis 10 kHz)		$5 \cdot 10^{-6}$
Leistung bei Wechselstrom (Watt)	1. Elektrodynamischer Leistungsmesser (20 Hz bis 2 kHz)		
	2. elektronisches Leistungs- und Energiemeßgerät für ein- und dreiphasige Wechselströme		$5 \cdot 10^{-4}$ bis $5 \cdot 10^{-3}$ $1 \cdot 10^{-3}$
Niederfrequenzleistung (Watt)	1. Absorptionsleistungsmesser bis 10 W		$1 \cdot 10^{-3}$
	2. Methode der Stromstärke und Spannungsmessung bis zu 30 kHz		$1 \cdot 10^{-3}$
Hochfrequenzspannung (Volt)	1. kalorimetrisches Verfahren mit zwei thermischen Meßköpfen 250 mV bis 1 V		$2 \cdot 10^{-4}$ bis $5 \cdot 10^{-3}$
	2. thermoelektrischer Komparator und Thermoumformer		
	250 mV bis 1000 V		
	30 kHz bis 100 kHz		$5 \cdot 10^{-5}$ bis $4 \cdot 10^{-4}$
	250 mV bis 100 V		
	100 kHz bis 10 MHz		$4 \cdot 10^{-4}$ bis $1 \cdot 10^{-3}$
	10 MHz bis 100 MHz		$1 \cdot 10^{-3}$ bis $2 \cdot 10^{-3}$
	250 mV bis 7 V		
	100 MHz bis 1000 MHz		$1 \cdot 10^{-3}$ bis $2 \cdot 10^{-3}$
	3. thermoelektrisches Voltmeter mit Dämpfungsglied		
	250 mV bis 100 V		
	10 MHz bis 100 MHz		$5 \cdot 10^{-3}$ bis $1 \cdot 10^{-2}$
	250 mV bis 5 V		
	100 MHz bis 1000 MHz		$1 \cdot 10^{-2}$ bis $4 \cdot 10^{-2}$
	4. Hochfrequenz-Mikropotentiometer		
	20 µV bis 100 mV		
	30 kHz bis 10 MHz		$1 \cdot 10^{-2}$ bis $5 \cdot 10^{-2}$
	10 MHz bis 100 MHz		$5 \cdot 10^{-2}$ bis $3 \cdot 10^{-1}$
	100 MHz bis 1000 MHz		$3 \cdot 10^{-2}$ bis $6 \cdot 10^{-2}$
Hochfrequenz und Mikrowellendämpfung	a) Zwischenfrequenz-Substitutionsverfahren		
	1. Hohlleiter-Dämpfungsglied (0 bis 120 dB für 10, 20, 60 und 100 MHz)		0,001 dB/10 dB
(Dezibel)	2. Dämpfungskalibrator (0 bis 90 dB)		0,01 dB/dB
	b) Tonfrequenz-Substitutionsverfahren (0 bis 50 dB)		0,007 dB/10 dB
Hochfrequenzleistung (Watt)	1. Doppelwiderstandskalorimeter bis zu 300 mW		0,25 % bis 0,5 %
	2. Leistungskalibrator bis zu 3 W (30 kHz bis 1 GHz)		1 % bis 2 %

Fortsetzung Tafel 1

Mikrowellenleistung	1. Hohlleiter-Normalmeßkopf (mit Dünnschichtelement) bis zu 10 mW bei 10 GHz	± 0,37 % (effektiver Wirkungsgrad)
	2. Transferverfahren mit bolometrischem Richtkoppler bis zu 100 mW bei 10 GHz	± 0,7 bis 0,8 %
	3. kalibriertes Leistungsmeßgerät bis zu 10 mW	1 %
Hochfrequenz- und Mikrowellenfrequenzmessung	Frequenzzähleinrichtung in Verbindung mit atomarem Cs-Frequenznormal bis 18,0 GHz	$1 \cdot 10^{-10}$
Schalldruck (Mikropascal)	Kondensatormikrofone (50 bis 18000 Hz, 35 bis 120 dB)	0,2 dB
Schwingungsamplitude (Millimeter)	optische Längenmessung (1 bis 5000 Hz)	$2 \cdot 10^{-2}$

schaffen, Kalibrierungen werden mit einem Satz genau definierter Standardinstrumente mit hoher Genauigkeit vorgenommen, die auf nationale Standards (Etalons) zurückgeführt sind. Es ist für die meisten Industriebetriebe und Institutionen nicht möglich, ihren eigenen Kalibrierdienst im Hause ökonomisch aufrecht zu erhalten. Deshalb übernimmt das NPL die Kalibrierungen von Referenznormalen in den Calibration Laboratories und in verschiedenen staatlichen Dienststellen:

— Department of Weights & Measures
— Department of Electronics
— Department of Industry
— Indian Railways
— Indian Space Research Organization
— Atomic Energy
— Civil Aviation
— All India Radio
— Defence Calibration Laboratories of Indian Army
— Air Force and Navy
— Hochschul- und Forschungsinstitute und einige Privatbetriebe.

Um die Einheitlichkeit und Genauigkeit der Meßinstrumente des National Calibration Service zu sichern, wurde das NPL mit der nationalen Koordinierung der Test- und Kalibriereinrichtungen betraut. Kalibrierungen führen speziell ausgebildete wissenschaftliche Mitarbeiter aus. Periodische Schulungen zur Präzisionsmeßtechnik werden regelmäßig durchgeführt. Mit Unterstützung der UNESCO und dem Commonwealth Science Council werden am NPL alle zwei Jahre internationale Training Workshops für Metrologie durchgeführt, an denen sich Wissenschaftler der Entwicklungsländer der asiatisch-pazifischen Region beteiligen. International ist das NPL in führenden metrologischen Organisationen vertreten [(in der Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CCPM), im Internationalen Komitee für Maß und Gewicht (CIPM), im Konsultativkomitee für die Definition der Sekunde (CCDS), im Leitkomitee des Asiatisch-pazifischen Metrologie-Programms (APMP) und in anderen Gremien)].

Im NPL werden etwa 1300 Mitarbeiter beschäftigt, davon sind etwa 400 graduierte Wissenschaftler, darunter etwa 150 promovierte Wissenschaftler, 500 technische Mitarbeiter und 400 Verwaltungsangestellte.

Auf einigen ausgewählten Gebieten betreibt das NPL intensive Forschungsarbeit. Das betrifft die Werkstofforschung, Entwicklung von Elektronikmaterialien, elektrostatische Bildwiedergabe- und Dünnschichttechnikgeräte, Solarenergie, Kryo-, Hochdruck- und Funktechnik.

K. Köppen, Berlin EA 2874

Wissenschaftliche Berichte der Technischen Hochschule Zittau

Die Wissenschaftlichen Berichte der Technischen Hochschule Zittau erscheinen seit 1974 als Manuskriptdruck. Sie werden vom Rektor herausgegeben und sind für den internationalen Schriftentausch zugelassen. Bisher sind 870 Wissenschaftliche Berichte erschienen.

Ziel dieser Veröffentlichungen ist es, die mit der Technischen Hochschule Zittau freundschaftlich verbundenen wissenschaftlichen Einrichtungen, wie Akademien, Universitäten, Hoch- und Fachschulen des In- und Auslandes, Kombinate sowie Interessenten aus Wissenschaft und Praxis der Energiewirtschaft, über das wissenschaftliche Profil sowie über Ergebnisse in Erziehung, Ausbildung und Forschung, aber auch über Höhepunkte im Wissenschaftlichen Leben der Hochschule zu informieren.

Das geschieht dadurch, daß die Sektionen in thematischen Heften über die Arbeit ihrer Wissenschaftsbereiche berichten oder Beiträge wissenschaftlicher Kolloquia zu speziellen Problemen veröffentlichen. Auch jungen Wissenschaftlern wird in den Wissenschaftlichen Berichten die Möglichkeit der Publikation ihrer Arbeiten in Vorbereitung auf die Promotion gegeben. Nicht zuletzt nutzen Praxiskader diese Publikationsreihe zur Vorstellung der Erfahrungen bei der Errichtung und beim Betrieb von Energieerzeugungs-, -verteilungs- und -anwendungsanlagen. Gesellschaftswissenschaftliche Beiträge beschäftigen sich mit dem Problemkreis Gesellschaft-Energie-Umwelt sowie mit der kommunistischen Erziehung der studentischen Jugend.

Im Jahre 1987 lag der Schwerpunkt auf der Veröffentlichung von Beiträgen der VIII. Wissenschaftlichen Konferenz für Energiewirtschaft in sieben Heften, die sich interdisziplinär mit

— der zuverlässigen und effektiven Energieversorgung der Gesellschaft
— der Erhöhung der Effektivität bei der Vorbereitung, Errichtung und dem Betrieb von Kernkraftwerken
— den Betrieb, der Rekonstruktion in Braunkohlenkraftwerken sowie der Schadstoffreduzierung
— der Kraftwerksautomatisierung
— dem stabilen Betrieb von Elektroenergieversorgungsanlagen und -systemen
— dem rationellen Einsatz der Energie in Umwandlungs- und Anwendungsanlagen
— der Instandhaltung und Technischen Diagnostik
— der rechnergestützten Arbeit des Ingenieurs und des Ökonomen
— mit dem gesellschaftswissenschaftlichen Komplex „Energie und Gesellschaft"

beschäftigten.

In einem weiteren Heft wurden die Beiträge des 7. Internationalen Sommerseminars des Instituts Marxismus-Leninismus zum Themenkomplex „Wissenschaftlich-technische Revolution — Umweltgestaltung — kommunistische Erziehung" publiziert.

Die Wissenschaftlichen Berichte sind auf Anforderung bei der Hochschulbibliothek der Technischen Hochschule Zittau zu beziehen.

R. Vollack, Zittau EA 2862

KDT-Empfehlung zur ppm-Arbeit

Eine KDT-Empfehlung zur ppm-Arbeit wurde von einer Arbeitsgruppe der Wissenschaftlichen Sektion „Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit" ausgearbeitet. Sie wird vom FV Elektrotechnik der Kammer der Technik herausgegeben.

In der Empfehlung geht es darum, mit weniger Aufwand mehr Qualitätsprodukte bereitzustellen. Dazu gehört nicht nur die Durchsetzung der Schlüsseltechnologien, sondern auch die durchgängige Sicherung der Qualität von den Grundstufen der Produktion bis zum Finalerzeugnis entsprechend den ständig wachsenden Ansprüchen im internationalen Maßstab.

Die Empfehlung enthält: Vorbemerkungen zum Ursprung des ppm Konzepts, das ppm-Konzept, Ziel und Inhalt der ppm-Arbeit.

Schriftliche Bestellungen: Kammer der Technik, Druckerei, Goethestr. 28, Zeuthen, 1615.

Für die Anleitung bei der Anwendung steht die Betriebssektion der KDT im VEB Applikationszentrum Mikroelektronik (Mainzer Straße 25, Berlin, 1035) zu Konsultationen zur Verfügung.

Die Redaktion EA 2906

Goldmedaille für MAGMES

Auf der INVEX '88, die vom 26. Oktober bis 1. November 1988 in Brno (ČSSR) stattfand, wurde das in ELEKTRIE 9/88 beschriebene rechnergestützte Meßgerät MAGMES auf dem Stand des zentralen Lizenzbüros der DDR ausgestellt und in Funktion vorgeführt.

Das Gerät fand große Zustimmung in Fachkreisen. Zwar konnte kein Partner für die Lizenznahme, ein Hauptanliegen der INVEX, während der Messe gewonnen werden, jedoch äußerten alle Interessenten den Wunsch, möglichst bald ein Gerät zu kaufen.

Von den 205 gestellten Anträgen auf eine Goldmedaille erhielt die DDR 3 Medaillen, davon eine für das Gerät MAGMES.

TUD/EL EA 2943

PATENTE

Stromschiene mit profilierten Oberflächen

DD-WP: 247 550
Int.-Cl.: H 02 G 5/10
Anmeldetag: 01. 04. 86
Anmelder: Kombinat VEB EAW Berlin Treptow

Die Erfindung betrifft eine Stromschiene mit im wesentlichen rechteckigen Querschnitt und profilierten Oberflächen, die im allgemeinen in Schaltanlagen sowie in elektrotechnischen Geräten zur Führung großer Ströme verwendet werden. Es wird bezweckt, die Belastbarkeit der Stromschienen, bezogen auf die Abmessungen des Querschnitts, bei gleichbleibender Erwärmung und ohne Einschränkungen hinsichtlich des rechtwinkligen Anschlusses von Stromschienenabzweigen, zu erhöhen. Erfindungsgemäß wird das dadurch erreicht, daß wenigstens zwei ihrer gegenüberliegenden Oberflächen in Längs- und Querrichtung mit Erhebungen und/oder Versenkungen in äquivalenten geometrischen Abmessungen versehen sind.

D. Ufert, Berlin EA 2701

Schaltungsanordnung zur Temperaturüberwachung von Schaltgeräten in NS-Anlagen

DD-WP: 249 794
Int.-Cl.: H 02 H 5/00
Anmeldetag: 05. 06. 86
Anmelder: VEB Starkstrom-Anlagenbau Magdeburg

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Temperatur der Schaltgeräte in NS-Schaltanlagen direkt zu überwachen, d. h. von den spannungsführenden Teilen direkt die Temperatur zu messen, die Meßwerte potential getrennt in der Schutz- und Sicherheitsschaltung zu verarbeiten und dadurch die Versorgungssicherheit der Anlage sowie die Lebensdauer zu erhöhen.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß ein Temperaturfühler direkt auf die Sammelschiene in unmittelbarer Nähe des Schaltgerätes montiert wird. Dieses Signal wird an einen Trennverstärker gegeben, der mit einem magnetischen Übertrager arbeitet, der sowohl das modulierte Signal als auch die Energie zur Versorgung der Eingangsstufe überträgt. Diese verstärkten Signale, die der gemessenen Temperatur entsprechen, werden potentialfrei auf einen Komparator gegeben, der bei Erreichen der vorgegebenen Grenztemperatur ein Relais ansteuert. Damit wird eine Zwangskühlung eingeleitet und eine Meldung ausgelöst. Ist die Schienentemperatur auf den Normalwert gesunken, wird die Kühlung wieder abgeschaltet.

D. Ufert, Berlin EA 2683

Schaltmechanismus für einen Nulleiterschalter

DD-WP: 247 992
Int.-Cl.: H 01 H 71/10
Anmeldetag: 11. 04. 86
Anmelder: VEB Elektroinstallation Annaberg

Aufgabe der Erfindung ist es, für einen Nulleiterschalter den Schaltmechanismus eines Leitungsschutzschalters mit einfachen Mitteln derart zu verändern, daß er die geforderten Bedingungen zur Schaltfolge sicher erfüllt und möglichst die gleichen Einzelteile wie beim Leitungsschutzschalter für den Schaltmechanismus zum Einsatz kommen können.
Darüber hinaus soll das Ausschaltverhalten beim selbsttätigen Auslösen so stark verzögert werden, daß auf den Einsatz von Lichtbogenleit- und Löscheinrichtungen im Nulleiterschalter verzichtet werden kann, da er dann prinzipiell stromlos schaltet.
Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß bei gleichen Anfangs- und Endpunkten die Kulissenführung im Nulleiterschalter, gegenüber der Kulissenführung im Leitungsschutzschalter, in ihrem Anfangsbereich einen vergrößerten Anstieg und im Endbereich einen verringerten Anstieg hat. So wird der Bewegungsablauf bei Handbetätigung durch eine veränderte Führungsbahn der Kulissenführung des drehbar gelagerten Verrastungselementes auf die Bedingungen der geforderten Schaltfolge abgestimmt. Die Veränderung der Kurvenbahn der Kulissenführung wird auf diese Weise auch den Bedingungen der besonderen Schaltfolge beim selbsttätigen Auslösen durch den angekoppelten Leitungsschutzschalter gerecht.

D. Ufert, Berlin EA 2703

Abschirmung elektronischer Übertragungsleitungen

DD-WP: 254 809
Int.-Cl.: H 01 B 11/06
Anmeldetag: 16. 12. 86
Anmelder: VEB Funkwerk Köpenick

Die Erfindung betrifft den Schutz elektrischer Übertragungsleitungen gegen das Ein- und Austreten elektromagnetischer Felder.
Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Abschirmung anzugeben, die eine homogene Umhüllung einer Übertragungsleitung bei geringem Einsatz von abschirmendem Material ermöglicht.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die abschirmende Schicht aus einem plastischen oder elastischen Material besteht, in das dipolförmige elektrisch leitende Partikel eingelagert sind, wobei diese Dipole parallel zur Leiterachse rohrartig den Leiter umhüllen. Das Prinzip dieser Lösung beruht darauf, daß nur die elektromagnetischen Felder abgeschirmt werden, deren Polarisation mit der Längsachse der Dipole und des Leiters übereinstimmen. Weichen diese Felder in ihrem Einfallswinkel von der Leiterachse ab, so wird abhängig vom Einfallswinkel die induzierte Störspannung verringert und somit auch die thermische Belastung der Abschirmung herabgesetzt. Diese Dipole bestehen vorwiegend aus ferromagnetischen Stoffen beziehungsweise sind mit diesen kombiniert, so daß unter Einwirkung eines Magnetfeldes diese Dipole in einer Vorzugseinrichtung beim Urformen formiert werden können.

D. Ufert, Berlin EA 2828

BUCHER

TURBO-PASCAL
Reihe: Technische Informatik

Von *G. Paulin*. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 1. Auflage. 206 Seiten, 20 Bilder, 3 Tafeln. Broschur 20,— Mark.
Bestell-Nr. 553 921 0

Turbo-Pascal hat sich zu der wohl am weitesten verbreiteten Programmiersprache auf Personalcomputern entwickelt. Das Buch ist eine Einführung in die Bedienung und Benutzung des Pascal-Systems unter CP/M. Es wird der Sprachumfang der sowohl auf 8-Bit-PC als auch auf 16-Bit-PC verfügbaren Version 3.0 behandelt.
Die Bedienung wird an einem Beispiel zur Programmentwicklung erläutert. Alle wichtigen Menüpunkte werden ausreichend beschrieben. Der Sprachumfang von Pascal wird systematisch abgehandelt, wobei alle Sprachelemente mit einem Beispiel erläutert werden. An vielen Stellen sind umfangreiche Programme eingefügt, um das Zusammenwirken der Sprachelemente zu demonstrieren. Neben der reinen Sprachbeschreibung findet man auch Tabellen und Übersichten zur Verwendung von Betriebssystemdiensten, wie z. B. BDOS-Funktionen, interne Speicherbelegungen und Einbindung von Assemblerroutinen. In den Text sind Übungsaufgaben eingesteuert, deren Lösung am Schluß des Buches zu finden sind.
Insgesamt ist das Buch eine gute Einführung in Turbo-Pascal. Es eignet sich sowohl zum Selbststudium als auch als Grundlage für Lehrgänge. Dem Nutzer von Turbo-Pascal unter CP/M bzw. SCP kann es sehr empfohlen werden.

J. Hübener, Berlin EA 2869

Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik – elektrisch, pneumatisch, hydraulisch

Von *H. Töpfer* und *W. Kriesel* (Herausgeber). Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 5., stark bearbeitete Auflage.

Die gegenwärtig zu beobachtenden, durchgreifenden Veränderungen in der Automatisierungstechnik erstrecken sich auf 2 Felder: auf die Automatisierung technischer Tätigkeiten und auf die Automatisierung technischer Abläufe.
Dem zuletzt genannten Gebiet ist das vorliegende Buch mit seiner ausführlichen Beschreibung der (z. T. bereits typisierten) Grundbausteine einer automatisierten Anlage verpflichtet. Die Auflage spricht für sich, drückt sich doch darin sowohl das

durch jede neue Ingenieursgeneration erhaltene Leserbedürfnis, als auch die Güte von Inhalt und Darstellung aus.
Ausgehend von einer systemtechnischen Übersicht ist der erste Hauptteil den elektrischen Funktionseinheiten gewidmet. Den Kapiteln über elektrisch-analoge und elektrisch-digitale Funktionseinheiten folgen Abschnitte zur Informationseingabe und -ausgabe, über die Informationsgewinnung (Meßeinrichtungen) sowie über die elektrische und optische Signalübertragung, zur Informationsnutzung (Stellglieder, -antriebe) und zur Stromversorgung. Neben der weiterhin unverzichtbaren klassischen (Analog-) Technik finden in dieser Ausgabe alle progressiven Entwicklungen in diesem Bereich ihre Berücksichtigung. Den zentralen Schwerpunkt bilden dabei natürlich die Komponenten zur digitalen, mikrorechnerbasierten Informationsverarbeitung und -übertragung. Das wichtige Kapitel über die Funktionseinheiten zur Informationsnutzung konzentriert sich weiterhin auf Stellmotoren, also auf Elemente kleiner Leistung.
In gleich systematischer Weise sind auch die weiteren Hauptabschnitte zu Pneumatik und Hydraulik abgefaßt.
Immer wird mit Erfolg das systemtechnische Ziel verfolgt, ein Minimum (typisierbarer) Funktionen bzw. Funktionseinheiten anzubieten, um damit ein Maximum verschiedenartigster Aufgaben lösen zu können.
Somit behandeln die Autoren unter Einbeziehung der neuen Dimension „Software" die Gesamtheit der gerätetechnischen Mittel für die unterschiedlichen Klassen der Automatisierungstechnik (Klein-, Mittel- und Großanlagen). Die Betrachtungen erfolgen vorzugsweise vom Standpunkt der Verfahrenstechnik aus. Gegebenenfalls sollte in einer bestimmt erforderlichen kommenden Auflage darauf hingewiesen werden, daß andere Fachgebiete — wie etwa die Walzwerkstechnik — die ohnehin bereits umfangreiche Pallette um wichtige Komponenten (wie z.B. Stromrichter, zugehörige Meßglieder u.a.) erweitern und daß die vergleichsweise höheren Dynamikforderungen u.U. auch zu veränderten Hard- und Softwarelösungen führen.
Insgesamt verdient natürlich das Buch als ein Standardwerk bezeichnet zu werden, welches seinen wertvollen Beitrag zu dem eingangs erwähnten Strukturwandel und zur beschleunigten Einführung der anwendungstypischen (mikroelektronischen) Innovationen leisten wird.
Selbst komplizierte Sachverhalte sind quasi in Form eines Lehrbuches klar und verständlich dargestellt, so daß vom Leser nur Grundkenntnisse in den ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen verlangt werden.
Weil die Kapitel ausnahmslos selbständig lesbar sind, empfiehlt sich der Titel als Nachschlagewerk. Folglich gehören zum angesprochenen Leserkreis sowohl Studenten einschlägiger und verwandter Fachrichtungen, als auch bereits praktisch tätige oder postgradual auszubildende Ingenieure der Automatisierungstechnik. Als vorteilhaft zeigt sich gleichfalls das umfangreiche abschnittsbezogene Quellenverzeichnis, eröffnet es doch mühelos den Zugang zu vertiefendem Wissen.

J. Krause, Berlin EA 2886

Power System Stability (Stabilität des Elektroenergiesystems)

Von *L. Z. Rácz* und *B. Bókay*.
Budapest: Akadémiai Kiadó 1988.
291 Seiten, 58 Bilder, 68 Diagramme, 5 Tabellen.

In 8 Hauptkapiteln und 10 Anhängen werden Probleme der statischen und transienten Stabilität unter Anwendung klassischer Methoden, der Systemtheorie, der Zustandsgleichungen und der Eigenwerte behandelt. Es werden sowohl die theoretischen Grundlagen als auch analoge und digitale Algorithmen für die Berechnung des Ein- und Mehrmaschinenproblems bei Berücksichtigung der Spannungs- und Leistungsregelung entwickelt und spezielle Probleme der Stabilität langer Hochspannungsleitungen und Zwischensystemverbindungen diskutiert.
Zur Lösung der Differentialgleichungssysteme wird die Anwendung des Runge-Kutta-Verfahrens 2. und 4. Ordnung und die Predictor-Corrector-Methode vorgeschlagen. Die Nutzung der Bode-Diagramme bei Stabilitätsproblemen wird ausführlich angegeben und eine Vielzahl von Berechnungsergebnissen anhand der Schwingkurven ausgewertet.
Die Bedeutung des Wellenwiderstandes und die Übertragung mit der natürlichen Leistung für Stabilitätsfragen wird herausgearbeitet. Die Angabe von Zusammenstellungen für Ausgangsdaten für Stabilitätsberechnungen und die Behandlung der Auswirkungen bei Instabilität bis zum Übergang zum gezielten Asynchronbetrieb hätte den Wert des Buches als Nachschlagewerk und für die Einführung neuer Techniken im Sinne der Antihavariestrategie für Elektroenergiesysteme noch erhöht. Das Buch ist für den in der Forschung und Praxis auf dem Gebiet der Stabilität arbeitenden Ingenieur und für die Ausbildung von Studenten zu empfehlen.

K.-D. Weßnigk, Zittau EA 2863

Prozeßanalyse mit unscharfen Verfahren

Von *St. F. Bocklisch*. Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 1. Auflage. 196 Seiten, 131 Bilder. Ganzleinen 27,— Mark.
Bestell-Nr. 553 7469

Die vorliegende Monografie beschäftigt sich mit der Analyse von Systemen und Prozessen, um diese zu steuern und zu verändern. In einem einführenden Kapitel wird anhand allgemeinverständlicher Beispiele gezeigt, daß der Begriff der Unschärfe mit der Beschreibung von Prozessen und Systemen in vielfältiger Form verbunden ist. Gleichzeitig vermittelt dieses Kapitel einen kurzen Überblick über die Entwicklung des unscharfen Konzeptes, seinen breiten anwendungsorientierten Einsatz sowie aktuelle theoretische Arbeitsrichtungen.
In den Kapiteln 2 und 3 werden Klassifikations- und Clusterungsprobleme in großer Breite behandelt. Die grundsätzliche Vorgehensweise wird immer ausgehend von praxisorientierten Beispielen entwickelt. Es werden anschauliche Darstellungsweisen, Struktogramme und kleine Berechnungsprogramme angegeben.
Kapitel 4 stellt die theoretische Basis der unscharfen Mengen dar. Der Begriff der Zugehörigkeitsfunktion wird anschaulich eingeführt und eine Reihe solcher Funktionen vorgestellt.
Eine universelle mehrdimensionale Zugehörigkeitsfunktion wird im Kapitel 5 behandelt. Dabei diskutiert der Autor auch Möglichkeiten zur quantitativen Bestimmung der Parameter dieser Funktion. Ihre Nutzbarkeit für die schon beschriebenen Klassifikationsprobleme wird erläutert und durch eine Reihe von Rechnerprogrammen ergänzt.
Aufbauend auf diesem Konzept einer universellen Zugehörigkeitsfunktion gibt Kapitel 6 einen Überblick über das leistungsfähige Programmsystem EUKLID zur unscharfen Klassifikation.
Das 7. und abschließende Kapitel stellt eine Reihe von Anwendungen der unscharfen Betrachtungsweise vor. Die breite Palette der dort diskutierten Beispiele reicht von Datenreduktion und Objekterkennung bis zur Diagnose, Prozeßüberwachung und Steuerung. Sie unterstreicht nochmals die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten dieses Instrumentariums.
Durch die Verwendung zahlreicher Beispiele wird das Verständnis stark gefördert. Die Angabe zahlreicher Programme (allerdings in FORTRAN) ermöglicht es dem Leser, ohne weiteres eigene Probleme zu bearbeiten.
Interessant und anregend sind auch die zahlreichen Vergleiche der Arbeitsweise der geschilderten Methodik mit Denkweisen des Menschen. Diese Vergleiche lassen erkennen, daß die Bedeutung der unscharfen Betrachtungsweise im Rahmen der Forschung zur künstlichen Intelligenz, insbesondere der Expertensysteme weiter zunehmen wird.
Damit liegt eine umfassende und stark praxisorientierte Arbeit vor, die langjährige Erfahrung des Autors vermittelt. Sie ermöglicht es, einem breiten Leserkreis, nicht nur moderne Konzepte der Prozeßanalyse kennenzulernen, sondern mit den angegebenen Programmen und Empfehlungen unmittelbar Probleme aus dem eigenen Arbeitsfeld zu bearbeiten.

B. Urban, Zittau EA 2881

Verhütung von Störungen und Schäden an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln

Reihe Kontakt und Studium, Band 218

Von *Ch. Delphendahl* u.a.
Ehmingen: Expert Verlag 1987. 107 Seiten, 44 Bilder und Tafeln

Das Buch wendet sich an Betriebsingenieure und -techniker und dient der Weiterbildung auf dem Gebiet der Wartung und Instandhaltung elektrischer Betriebsmittel und Anlagen. Fachkollegen mit reicher Betriebserfahrung kommen zu Wort. Fehlerursachen und Strategien bzw. Maßnahmen zu deren Verhütung werden systematisiert, anschaulich dargestellt und bewertet. Es gelingt den Autoren, aus der Vielfalt mög-

licher Fehler besonders häufige und typische Beispiele auszuwählen und daraus einfache und allgemeingültige Regeln für die Betriebsführung elektrischer Betriebsmittel und Anlagen abzuleiten. Dabei stammt der Hauptteil der Beispiele aus dem Bereich der elektrischen Maschinen.
Abschließend wird ein anschaulicher Überblick über einige wesentliche Geräte der Schwingungs-, Temperatur- und elektrischen Meßtechnik gegeben, mit der Vor-Ort-Prüfungen als Basis für eine zustandsbezogene Instandhaltung möglich sind.
Das Buch enthält viele für den Praktiker nützliche Informationen und Anregungen. Der Wert liegt in der Systematisierung des praktischen Erfahrungsschatzes, so daß es auch für die gesamte Breite elektrotechnischer Betriebsmittel von Nutzen ist, auch wenn sie nicht beispielhaft erwähnt sind.

J. Pilling, Zittau EA 2875

Qualitätssicherung in der elektrischen Energietechnik

Von *H.-J. Forst*
Berlin, Offenbach: vde-verlag GmbH 1987

Die vorliegende Broschüre enthält eine gelungene Zusammenstellung von insgesamt 8 Einzelbeiträgen unter der Regie der VDE-Arbeitsgemeinschaft. Dabei wird mit dem ersten, einführenden Beitrag ein Überblick über Grundprinzipien, Wirkungsbereiche und wesentliche Methoden der Qualitätssicherung gegeben. Das darin dargelegte Modell des Qualitätskreises ist letztlich auch das dominierende methodische Konzept in den übrigen Beiträgen, in denen Hersteller und Betreiber von elektro-technischen Geräten und Anlagen mit ausgewählten Beispielen zu Wort kommen. Eine zuverlässige Elektroenergieversorgung als die für beide Bereiche gleichermaßen gültige Zielfunktion der Qualitätssicherung in der elektrischen Energietechnik ist dabei trotz aller prozeßbedingten Besonderheiten die Grundlage für ein koordiniertes Vorgehen.
Aus der Sicht der Hersteller werden durch Vertreter renomierter Firmen Aspekte und Methoden der Qualitätssicherung am Beispiel von Leistungsschaltern und gekapselten Schaltanlagen der Nieder- und Mittelspannung dargelegt. Bemerkenswert ist dabei der einheitliche Grundtenor „Qualitätssicherung ist mehr als Prüfen". Sie beginnt beim Entwurf und endet beim Kundendienst. Die Prüfungen spielen im Fertigungsprozeß als diesen begleitende Maßnahmen eine herausragende Rolle, wobei deren Aussagegehalt durch leistungsfähigere Meßverfahren und -geräte sowie eine rechnergestützte Meßwertverarbeitung ständig weiterentwickelt wurde.
Aus der Sicht der Betreiber werden durch Vertreter bedeutender öffentlicher und industrieller Elektroenergieversorgungssysteme vor allem die Aspekte der Anlagenüberwachung und der Instandhaltung als wesentliche Wege zur Qualitätssicherung in den Mittelpunkt gestellt. Die Rolle einer aussagefähigen Störungs- und Schadensstatistik als bedeutsames Hilfsmittel für die Ausbauplanung und die Betriebsführung der Netze wird herausgearbeitet. Die einzelnen Beiträge sind in erster Linie von Praktikern für Praktiker geschrieben. Sie vermitteln einen guten Überblick über eigentlich alle Aspekte, die der Titel der Broschüre erwarten läßt. Es werden beispielhaft Erfahrungen und Methoden vorgestellt, die für jeden Fachmann, der direkt oder indirekt mit den Fragen der Versorgungszuverlässigkeit im Elektroenergiesystem befaßt ist, eine Vielzahl von Anregungen enthalten,
Wertvoll sind auch die den einzelnen Beiträgen angefügten weiterführenden Literaturhinweise.

H. Kindler, Zittau EA 2855

Magnetdioden, Magnettransistoren und ihre Anwendung

In russischer Sprache

Von *G. A. Egiazarjan* und *V. I. Stafejev*
Moskau: Verlag Radio i svjaz 1987, 89 Seiten, 74 Bilder, 8 Tafeln, Broschur 1,50 M

Sensoren für die Erfassung der verschiedensten physikalischen Größen, insbesondere solche, die auf der Basis moderner Halbleitertechnologien hergestellt werden können, unterliegen gegenwärtig eine besonders stürmische Entwicklung. Dazu gehören auch die in der vorliegenden Broschüre behandelten Magnetdioden und Magnettransistoren. In der bewährten Folge Theorie — Kennwerte — Anwendung werden im ersten Hauptabschnitt die Grundlagen von Magnetdioden (wesentliche physikalische Effekte sowie grundlegende Betriebsparameter) beschrieben. Dem konstruktiven Aufbau und den Herstellungsverfahren ist der zweite Hauptabschnitt gewidmet; bereits hier wird auf verfügbare Typen sowjetischer Produktion konkret Bezug genommen. Typische Kennwerte von Magnetdioden und ihre Parameterabhängigkeit, also das Betriebsverhalten solcher Bauelemente, sind Inhalt des dritten Hauptabschnitts. Im vierten Hauptabschnitt sind weitere magnetfeldabhängige Halbleiterfühler, insbesondere einige Varianten von Magnettransistoren sowie ein Magnetthyristor, beschrieben. Ausgewählte Anwendungsfälle für Magnetdioden bzw. Magnettransistoren (u.a. magnetischer Geber, Meßfühler für Gleichstrom, kollektorlose Gleichstrommotore usw.) sind im fünften Hauptabschnitt dargestellt. Diese keineswegs vollständige Auswahl von Einsatzbeispielen zeigt das Typische und läßt so die vielfältigen vorteilhaften Anwendungsmöglichkeiten von Magnetdioden und Magnettransistoren erkennen. Abschließend sind in einem Tafelanhang die wichtigsten technischen Daten verfügbarer Bauelemente aus sowjetischer Produktion zusammengefaßt.
Die vorliegende Broschüre vermittelt einen praxis- und anwendungsorientierten Überblick über Wirkungsweise, Betriebsverhalten, sachgerechten Einsatz und Anwendungsmöglichkeiten von Magnetdioden und Magnettransistoren. Ein ausführliches Literaturverzeichnis ist hilfreich beim tieferen Eindringen in die Problematik. Die Broschüre kann all jenen zahlreichen Lesern empfohlen werden, die sich mit Problemen der Elektrotechnik und Elektronik der Automatisierungstechnik bzw. der Prozeßautomatisierung befassen.

G. Graichen, Karl-Marx-Stadt EA 2778

Neue Sowjetische Lehrbücher der Elektrotechnik

In der gegenwärtigen Phase der breiten Einführung bzw. weiteren Ausgestaltung der neuen Fachschulausbildung zum Techniker ist es von besonderem Interesse, über vergleichbare Lehrinhalte der mittleren Spezialbildung in der Sowjetunion zu informieren. Diesem Anliegen soll mit der kurzen inhaltlichen Vorstellung von zwei neuen sowjetischen Lehrbüchern der Elektrotechnik entsprochen werden.

Allgemeine Elektrotechnik

In russischer Sprache

Von *F. E. Evdokimov*
Moskau: Verlag Vysschaja škola 1987. 352 Seiten, 249 Bilder, 13 Tafeln, zahlreiche Kontrollfragen und Aufgaben mit Lösungsanhang. Kunstleder 5,50 Mark.
Bestell-Nr. NK 86-19/259

Das Lehrbuch zur allgemeinen Elektrotechnik wird in der Sowjetunion im Rahmen der mittleren Spezialbildung eingesetzt, es ist für die Nebenfachausbildung von Nichtelektrotechnikern vorgesehen,
Nach einer Einführung werden das elektrostatische Feld, Gleichstrom-Netzwerke und ihre Berechnung (übliche Verfahren mit einigen Hinweisen zu nichtlinearen Problemen), magnetische Felder und Kreise einschließlich Induktion und Kraftwirkungen, einphasige Wechselstromnetze mit Einführung der symbolischen Methode und der Zeigerdarstellung, Drehstromnetze, elektrische Meßgeräte und Meßtechnik, wesentliche Arten von Transformatoren, elektrische Wechsel- und Gleichstrommaschinen, elektrische und magnetische Bausteine der Automatisierungstechnik, Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik sowie einige Fragen der Elektronenenergieübertragung und -verteilung behandelt. Hervorzuheben sind vor allem die sehr gute Anschaulichkeit und Faßlichkeit der Darlegungen, unterstützt durch viele instruktive Feldbilder, Schnittdarstellungen u.ä. Das Weglassen „unnötiger höherer Mathematik" und die Orientierung der Ausführungen auf die praktische Anwendung haben sicherlich wesentlich dazu beigetragen. Ein Lehrbuch, das nicht nur bei der Konzipierung der Ausbildung im Nebenfach Elektrotechnik auf großes Interesse stoßen wird.

Elektrische Maschinen und Antriebe für automatisierte Einrichtungen

In russischer Sprache

Von *M. M. Kazman*
Moskau: Verlag Vysschaja škola 1987.
335 Seiten, 187 Bilder, 19 Tafeln, Kunstleder 5,—Mark
Bestell.-Nr. NK 86-19/263

Es handelt sich um ein Lehrbuch zur elektrischen Antriebstechnik, das in der Sowjetunion im Rahmen der mittleren Spezialbildung zur Ausbildung von Spezialisten auf dem Gebiet der Antriebstechnik eingesetzt wird.
Das Buch ist in die vier Kapitel Transformatoren, elektrische Maschinen für automatisierte Einrichtungen, elektromagnetische Bausteine der Automatisierungstechnik sowie elektrische Antriebe für Automatisierungseinrichtungen gegliedert.

Im ersten Kapitel werden herkömmliche Ein- und Mehrphasentransformatoren sowie Sonderformen (u.a. Impulstransformatoren, magnetische Frequenzwandler und Spannungsstabilisatoren) vorgestellt. Das zweite Kapitel ist Antriebsmaschinen größerer Leistung (u.a. Drehstrom-Asynchronmotor, Einphasen-Kondensatormotor, Synchronmotor, Kollektor-Motor) gewidmet; mit mehr als 125 Seiten bildet es den Hauptteil des Buches. Verschiedene elektromagnetische Bausteine der Automatisierungstechnik (u.a. Stellmotoren, Tachogeneratoren, elektrische Verstärkermaschinen) sind Inhalt des ebenfalls ausführlichen dritten Kapitels. Das abschließende vierte Kapitel zu elektrischen Antrieben für automatisierte Anordnungen (u.a. Grundlagen der Antriebstechnik, Roboterantriebe usw.) ist vor allem auf die praktische Anwendung elektrischer Maschinen in der Automatisierungstechnik zugeschnitten.

Auch in diesem Buch sind die gute Anschaulichkeit und Faßlichkeit, unterstützt durch viele instruktive Abbildungen und methodisch geschickt angewandten Zweifarbendruck, hervorzuheben. Es wird der für die Behandlung elektrischer Maschinen übliche mathematische Apparat benutzt, wobei stets eine sinnvolle Beschränkung auf das Notwendige erfolgt. Die „elektromagnetischen Probleme" der Antriebstechnik sind im Buch umfassend und praxisorientiert dargestellt. Wünschenswert wäre eine stärkere Beachtung moderner, leistungselektronischer Stellglieder gewesen. Mit den beiden Lehrbüchern wird nicht nur ein sehr interessanter Einblick in das hohe Niveau mittlerer Spezialbildung in der UdSSR gegeben, sondern sie sind zugleich eine begrüßenswerte Bereicherung des Lehrbuchangebots in der DDR. Die Bücher werden sicherlich einen breiten Interessentenkreis finden, der vom interessierten Facharbeiter bis zum Hochschullehrer, selbst bis zum Fachlehrer der Sprachkundigenausbildung, reichen könnte.

G. Graichen, Karl-Marx-Stadt EA 2785

Anwendung integrierter Schaltungen

In russischer Sprache

Von *A. B. Williams* (Herausgeber).
Moskau: Verlag Mir 1987. 413 Seiten, 267 Bilder, Kunstleder 8,— Mark

Das vorliegende Leitmaterial ist eine Übernahme der amerikanischen Originalausgabe „Designers handbook of integrated circuits" aus dem Jahre 1984. In 12 Hauptabschnitten legen amerikanische Spezialisten die grundlegenden Anwendungsgesichtspunkte von analogen und digitalen niedrig- und hochintegrierten Schaltkreisen dar. Die sowjetische Ausgabe besteht aus zwei Bänden, wobei dieser zweite Band (Abschnitte 8 bis 12) ausschließlich digitalen Schaltungen gewidmet ist. In die Betrachtungen einbezogen wurden Logikschaltungen mittleren Integrationsgrades, Mikroprozessoren, optoelektronische Schalter und Indikatoren, Ergänzungsschaltungen zu Mikroprozessoren hohen Integrationsgrades und Interfaceschaltungen.

Im Hauptabschnitt über die Anwendung von komplexen Logikschaltungen wird der Leser an die Hand genommen und beim Entwurf von beispielhaften Funktionsschaltungen mit Multiplexern, Kodewandlern, Registern, Zählern und Arithmetikschaltungen in die Grundlagen ihrer Zusammenschaltung, Ansteuerung, Taktierung und Adressierung eingeweiht. Die gewählten Beispiele sind der Praxis entlehnt und somit übernehmbare komplette Lösungen für eigene Vorhaben des Lesers. Obwohl für die Funktionserläuterung konkrete Schaltkreise in TTL-Technik herangezogen werden, sind diese Funktionsschaltungen auf andere Schaltkreistechniken übertragbar. Dazu gibt der Autor in einer zusammenfassenden Tafel die entsprechenden internationalen Äquivalente in CMOS- und ECL-Technik an.

Der Hauptabschnitt über Mikroprozessoren ist eine Einführung in die Anwendung von höchstintegrierten Schaltungen; es ist mehr oder weniger nur eine grobe Übersicht. In einem Grundlagenhandbuch kann das wohl auch nicht anders sein, zumal es für diese Schaltkreise eigenständige Bücher gibt. Behandelt werden grundsätzliche Begriffsdefinitionen, Befehlssätze, Datenformate, Architekturen, Interfaceanschlußbedingungen und die Kommunikation mit der Umwelt. In spezifischen Tafeln wird der Leser darüber informiert, welche Programmiersprache von welcher Firma für welchen Mikroprozessor entwickelt und angewendet wurde und welche Universal- und Einchipmikrorechner zur Anwendung angeboten werden. Die dazu gegebenen Kurzkommentare reichen aus, um für einen vorliegenden Anwendungsfall eine Vorauswahl treffen zu können. Im folgenden Hauptabschnitt über optoelektronische Bauelemente werden Senderbauelemente, wie Einzel-LED in unterschiedlicher Gestalt, Skalenanzeigen, Segmentanzeigen, Punktanzeigen und Optokoppler in vielen Versionen besprochen. Anhand konkreter Bauelementetypen wird ihre Arbeitsweise, Anwendung und Einsetzbarkeit für die Realisierung bestimmter Gerätelösungen kritisch diskutiert. Notwendige Dimensionierungsregeln sind angegeben. In der sich anschließenden 11seitigen Tafel sind optoelektronische Bauelemente internationaler Firmen typspezifisch mit ihren wichtigsten elektrischen und optischen Kennwerten aufgelistet. Diese Angaben sind jedoch kein Ersatz für ein verbindliches Datenblatt.

Zum Aufbau von kompletten Geräten werden neben den Mikroprozessorschaltkreisen noch sogenannte Ergänzungsschaltungen benötigt, die bestimmte Steuerfunktionen, Eingabefunktionen und Ausgabefunktionen übernehmen. Mit diesen Spezialschaltungen beschäftigt sich der nächste Hauptabschnitt. Anhand des Blockschaltbildes zeigt der Autor, wie beispielsweise ein Taktschaltkreis extern zu beschalten und mit dem Mikroprozessor zu koppeln ist. Andere Beispiele sind Steuerschaltungen für Tastaturen, Folienspeicher und Grafikausgabe.

Das Handbuch schließt mit Empfehlungen zur technischen Realisierung von standardgerechten Leitungsverbindungen zwischen Mehrrechneranordnungen, einschließlich der Probleme der Pegelanpassung, Störeinkopplung und Signalübertragungsverfahren. Auch hier kann sich der Autor auf konkrete Schaltkreistypen und in der Praxis bewährte Lösungen der Übertragungstechnik stützen. Ein alphabetisches Stichwortverzeichnis erleichtert das Auffinden eines bestimmten Sachgebietes.

G. Turinsky, Karl-Marx-Stadt EA 2787

Jahrbuch zum VDE-Vorschriftenwerk 1987

Neues über VDE-Bestimmungen von VDE-Leitlinien

Von *A. Warner*
Berlin — Offenbach: VDE-Verlag 1987, 375 Seiten, 1 Bild, 8 Tafeln

Das vorliegende 2. Jahrbuch führt den 1984 eröffneten Informationsdienst zum kompletten VDE-Vorschriftenwerk der BRD weiter. Es soll ebenso wie die Vorgängerausgabe Elektroingenieure und Praktiker regelmäßig über die dem Stand der Technik angepaßten technischen und sicherheitstechnischen Bestimmungen und anderen Regeln von etwa 900 bestehenden VDE-Vorschriften informieren und notwendige Erläuterungen dazu geben. Das Jahrbuch 1987 enthält und erläutert deshalb nachfolgend genannte Themenkomplexe:

— Kurzfassungen der zwischen April 1986 und März 1987 in Kraft gesetzten Erst- und Folgeausgaben zum VDE-Vorschriftenwerk der Bereiche

- Energieanlagen
- Energieleiter und Isolierstoffe
- Messen, Steuern, Prüfen
- Maschinen und Umformer
- Installationsmaterial und Schaltgeräte
- Gebrauchs- und Arbeitsgeräte
- Informationstechnik

— Inkraft- bzw. Außerkraftsetzungskalender mit Angabe der im Zeitraum April 1986 bis März 1987 je Monat in Kraft gesetzten bzw. zurückgezogenen Vorschriften

— Aktuelle Mitteilungen zum VDE-Vorschriftenwerk, z. B. über die Verordnung des BRD-Energiewirtschaftsgesetzes, Berichtigungen und Ermächtigungen zu VDE-Bestimmungen sowie die Bekanntmachungen von Europanormen (EN) und Harmonisierungsdokumenten (HD), die durch das (West-) Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) bestätigt wurden

— Kurzcharakteristiken zu Beiträgen und Büchern über neue bzw. geänderte VDE-Vorschriften. Allgemein interessant sind die Veröffentlichungen

- Wirkungen des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere; Lehrbuch der Elektropathologie
- Das Normenwesen in der VR China
- Lexikon der Nachrichtentechnik
- Arbeitsschutz in elektrischen Anlagen
- Unfallverhütungsvorschriften und Normen — Erfahrungen aus der Zusammenarbeit
- Europäische Normung zwischen nationaler und weltweiter Normung
- Handbücher der Sicherheitstechnik
- Hausinstallationen nach DIN VDE 0100.

Das vorgestellte VDE-Jahrbuch endet mit einem Anschriftenverzeichnis nationaler und internationaler Normenorganisation und einem technischen Stichwortverzeichnis. Es kann auch für DDR-Fachleute als Nachschlagewerk für die gültigen Vor-

schriften der BRD und deren Interpretationen bei der Anfertigung von technischen Weltstandsvergleichen und Standardanalysen dienen.

H. Kloust, Berlin EA 2780

Lehrbuch der Hochfrequenztechnik

Band 1: Hochfrequenzfilter, Leitungen, Antennen

Von *O. Zinke* und *H. Brunswig*
Berlin, Heidelberg, New York, Tokio: Springer-Verlag 1986
3., neubearbeitete und erweiterte Auflage: 427 Seiten, 369 Bilder, broschiert

Dieses zweibändige Lehrbuch der Hochfrequenztechnik gilt seit langem als Standardwerk. Es werden die Themen: Erzeugung, Fortleitung, Ausstrahlung und Anwendung elektromagnetischer Signale im Frequenzbereich von einigen kHz bis zu den Frequenzen der optischen Nachrichtentechnik behandelt.

Der vorliegende erste Band wurde in der 3. Auflage um die Themen Schwingkreise, Hochfrequenzüberträger und -Filter, Eigenschaften von Koaxialkabeln, Mikrostreifenleitungen, Koplanar- und Finleitungen erweitert. Außer auf Richtkoppler verschiedener Bauart wird auch auf Lichtwellenleiter mit Glasfasern, akustische Oberflächenwellen-Filter, die Wellenausbreitung in Hohlleitern und gyromagnetischen Medien sowie elektromagnetische Strahlung und Antennen eingegangen.

Damit wurden in der neuen und erweiterten Auflage die neuesten Erkenntnisse der Hochfrequenztechnik und vor allem die Entwicklungstrends zur Miniaturisierung in der Hochfrequenztechnik und in der Anwendung der Übertragung höchster Frequenzen in Lichtwellenleitern berücksichtigt. 417 Literaturstellen ermöglichen eine weitere Vertiefung für den interessierten Leser.

In den ersten beiden Abschnitten werden die Grundlagen der Schwingkreise und Leitungsgleichungen in anschaulicher Form mit vielen Abbildungen dargestellt, die im 3. und 4. Abschnitt auf Hochfrequenztransformatoren, Symmetrierglieder, Leitungen und Kabel angewandt werden. Neben den herkömmlichen Elementen werden dabei die durch die Miniaturisierung aufkommende Streifenleitungstechnik, offene und geschirmte Schlitzleitungen, Mikrostreifenkoppler sowie die akustischen Oberflächenwellenfilter behandelt.

Die feldmäßige Darstellung der Ausbreitung längs von Wellenleitern im 5. Abschnitt wird aus den Maxwellschen Feldgleichungen abgeleitet. Die Beziehungen zwischen Feldtheorie und Leitungstheorie werden erläutert. Es folgt daraus die Anwendung auf unbegrenzte bzw. bereichsweise begrenzte Medien. Die Anwendung dieser Erkenntnisse erfolgt auf dielektrische Wellenleiter (Platten-, kreisförmige und Hohlleiter) sowie auf Lichtwellenleiter. Entsprechend der Werkstoffweiterentwicklung wird auch die Wellenausbreitung in Metalloxidverbindungen (Ferrite) dargestellt.

Im letzten Abschnitt, Elektromagnetische Strahlung und Antennen, wird die Wellenausstrahlung in den freien Raum untersucht. Ausgehend vom hertzschen und vom magnetischen Dipol werden zunächst die Grundlagen und schließlich vielen die Anwendungen gezeigt.

F. Hoppadietz, Berlin EA 2338

Elektrische Ausrüstungen von Industriemaschinen. Erläuterungen zu DIN VDE 0113, Teil 1/02.86

VDE-Schriftenreihe, Band 26.
Von *Böhm, Heyder* und *Koenigs*.
Berlin, Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1987. 158 Seiten, 66 Bilder, 11 Tafeln

Dieser, von langjährig mit der Thematik vertrauten und international tätigen Fachautoren zusammengestellte Themenband, richtet sich an Elektroingenieure, Techniker und Meister der maschinenherstellenden Industrie. Er gibt wichtige Erläuterungen zum Teil 1 der BRD-Norm DIN VDE 0113 zu elektrischen Ausrüstungen von kraftbetriebenen Be- und Verarbeitungsmaschinen für Arbeits- und Fertigungsprozesse.

Diese Norm stellt eine nationale Untersetzung der IEC-Publikation 204-1, Ausg. 1981, dar und wurde ebenfalls für die Mitgliedsländer der EG (Westeuropäischen Gemeinschaft) bearbeitet und in der Vorschrift EN 60204-1 harmonisiert. Das Buch gibt Erläuterungen und praxisorientierte Umsetzungshinweise z.B. für folgende ausgewählte Festlegungsbereiche von DIN VDE 113:

- Anwendungsbereiche (z.B. Maschinen zum Be- und Verarbeiten von Metall, Holz, Kunststoffen, Textil- und Bekleidungsmaschinen, Druck- und Verpackungsmaschinen, Maschinen der Nahrungsmittelindustrie u.a.)
- Allgemeine Bedingungen für Betrieb, Transport und Lagerung
- Begriffe (elektronische Ausrüstung, Schaltgerätekombination, Steuer- und Meldestromkreise, Elektrofachkräfte)
- Warnschilder, Aufschriften, Betriebsmittel — Kennzeichnungen und notwendige technische Unterlagen
- Allgemeine Anforderungen an elektrische Betriebsmittel und deren Betriebsbedingungen
- Notwendige Schutzmaßnahmen (Schutz gegen gefährliche Körperströme beim direkten bzw. indirekten Berühren, Überlast- und Kurzschlußschutz, Schutz bei Spannungswiederkehr, Unterspannungsschutz, Hauptschalter, Schutz im Fehlerfall und Beeinflussung durch Störfelder)
- Auslegung von Steuer- und Meldestromkreisen (Speisung, Schutz, Verriegelungen, Betriebsarten Automatik und Handbetrieb)
- Ausführung und Anordnung elektrischer Betriebsmittel insbesondere von Steuergeräten und Elektromotoren
- Arten, Nennquerschnitte, Belastbarkeit von Leitungen, Kabel und Leiter sowie Festlegungen zur Verdrahtung
- Arten und Ausführungen von Prüfungen (Isolations-, Spannungs- und Funktionsprüfungen).

Die Erläuterungen werden durch umfangreiche Bild- und Tafelmaterialien unterstützt und dadurch leicht verständlich dargestellt.

Weiterhin wird auf relevante BRD-Gesetze, Verordnungen, Unfallverhütungsvorschriften, DIN-Normen, VDE-Bestimmungen und VDI-Richtlinien bereits im Text und geordnet im Anhang hingewiesen. Der Band endet mit einem Stichwortverzeichnis, daß den Zugriff auf Detailinformationen der Norm und deren Erläuterungen weiter erleichtert.

Da diese Normen von einem großen Anwenderkreis in der EG verbindlich anzuwenden sind, sollten deren Auslegung und Kommentierung für NSW-Exporte auch bei DDR-Fachleuten besondere Beachtung finden.

H. Kloust, Berlin EA 2781

Fertigung, Prüfung und Montage von Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern

Schriftenreihe „Automatisierungstechnik"
Heft 18

Von *G. Venus* und *H. Beuchel*
Betriebssektion der KDT und Bereich Technologie des VEB Geräte- und Regler-Werke „Wilhelm Pieck" Teltow 1987. 60 Seiten, 13 Bilder, Broschur 8,— M

Anhand des mikrorechnergestützten Prozeßleitsystems audatec, das vom VEB GRW „Wilhelm Pieck" Teltow für die Automatisierung der verschiedensten verfahrenstechnischen Anwendungsfälle geschaffen wurde, gehen die Autoren auf die Schwerpunkte der Fertigung, Montage und Inbetriebnahme von bestimmten audatec-Komponenten ein.

Im Rahmen der technologischen Konzeption der stationären Fertigung wird eingehend der technologische Fertigungsumfang und -ablauf, die Fertigungsorganisation, die Gefäßfertigung und insbesondere die Prüfung von Baugruppen, Gefäßen und Anlagenteilen beschrieben. Die Montage von Automatisierungsanlagen, die den Fertigungsumfang und -ablauf sowie die Arbeitsvorschriften der Anlagemontage umfassen, bilden den zweiten Schwerpunkt. Maßnahmen der Inbetriebnahme von audatec-Automatisierungsanlagen sowie die Anforderungen an die Transport- und Lagertechnik werden kurz angedeutet. Es werden ausschließlich technische Gesichtspunkte des Produktionsprozesses von Automatisierungsanlagen dargestellt, wobei die Vernetzung mit vorbereitenden Prozessen, wie Materialwirtschaft bzw. mit betrieblichen Planungs- und Abrechnungsprozessen vernachlässigt wird.

Anhand der Abbildungen werden die einzelnen Prozeßabschnitte der Fertigung, Prüfung und Montage von Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern anschaulich dargestellt. Diese Veröffentlichung ist insbesondere für Technologen, Projektanten, Prüfingenieure und Inbetriebnahmepersonal in der Automatisierungstechnik als Arbeitsmittel besonders gut geeignet.

Die Broschüre kann über die Betriebssektion der Kammer der Technik oder über die Zentrale Informationsstelle Wissenschaft und Technik des VEB GRW „Wilhelm Pieck" Teltow, Oderstr. 74/76, Teltow, 1530, zum Preise von 8,— M bezogen werden.

A. Woldag, Potsdam EA 2799

Documentation

Bauer, H.

Decision Criteria to Developing and Using Microcomputer Aided Process Running Techniques for Transformer Stations

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, pp. 405–409, 6 Figs., 2 Tables, 6 Equations, 16 Refs.

The structure and the functional realization of the microcomputer aided process running techniques for transformer stations are determined, substantially, by the three criteria reliability, accuracy, and time balance. Thus both the requirements to the running techniques and the realizing expenditure may be evaluated. To solution examples in the GDR is hinted. Further innovations related to operation running and to the protection will set up to the microcomputer aided running techniques and to the use of light wave guide transmissions.

Bauer, H.; Langer, G.

Models and Strategies of Testing Electromagnetic Compatibility (EMV)

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, pp. 409–415, 6 Figs., 15 Equations, 15 Refs.

Starting with the conceptional work of the development or the application of electronic deviee systems measures of safeguarding the electromagnetic compatibility (EMV) have to be included. Supported upon technical instructions and computations experimental studies are necessary to this end. Depending on the realization state development tests, type tests, and field tests may be distinguished. On base of the described models the test strategies are selected and evaluated.

Ambrosch, H.

Requirements to Modern High-Voltage Switching Devices — International State and Development Trends

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, pp. 415–419, 8 Figs., 2 Tables, 15 Refs.

The adaptation of the high-voltage power switchers to the requirements of the network operation os discussed by means of the criteria of electrotechnical parameters, reliability, availability, and behaviour in average situations by example of the transition from air-blast circuit brakers to SF_6-circuit brakers. Generator power switchers are also taken into consideration.

Bochanky, L.

Loading Models of Public Distribution Networks

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, pp. 419–423, 2 Figs., 2 Tables, 6 Equations, 19 Refs.

Models adapted to describing the loading curve within one year are represented, which with regard to the stochastic behaviour of loading are offering different mapping accuracy. A comparing evaluation shows, that simplified models are not only more profitable to the user, but also sufficiently accurate regarding to mapping.

Budig, P.-K.; Timmel, H.; Schubert, Th.; Jugel, U.; Seyfarth, K.

Active Magnetic Bearings — a Survey of Theoretical Fundamentals, Construction, Operation Mode, Designing, and Specific Problems. Part 2

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, pp. 424–428, 25 Figs., 3 Tables, 46 Equations, 17 Refs.

Modern technologies have often high requirements regarding to bearings of shafts. Conventional antifriction and slide bearings are reaching their limits. Active magnetic bearings are offering a developing alternative. This paper provides for a survey of the theoretical fundamentals, construction, operation mode, operating behaviour, disigning, power balance, and specific problems of active magnetic bearings by example of an active magnetic radial bearing.

Документация

Бауэр, Х.

Критерии решения для разработки и применения средств управления процессами на базе микро ЭВМ для трансформаторных подстанций

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 11, стр. 405–409, 6 рис., 2 табл., 6 уравн., 16 лит.

Структура и функциональная реализация средств управления процессами на базе микро ЭВМ для трансформаторных подстанций в основном определяется тремя критериями: надежностью, точностью и временным балансом. Тем самым могут оцениваться как требования, предъявляемые к средствам управления, так и сложность реализации. Приводятся примеры реализации из ГДР. Будущие новшества по управлению эксплуатацией и защите будут основываться на управляемых от микро ЭВМ средствах управления и применении световодной техники передачи информации.

Бауэр, Х.; Лангер, Г.

Модели и стратегии испытаний электромагнитной совместимости (ЭМС)

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 11, стр. 409–415, 6 рис., 15 уравн., 15 лит.

Начиная с концепциональной работы по разработке или по применению систем электронных приборов необходимо учесть меры по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС). Опираясь на технических руководящих материалах и расчетах необходимо провести соответствующие экспериментальные исследования. В зависимости от состояния реализации различают опытно-конструкторские, типовые и полевые испытания. На базе описанных моделей выбираются и оцениваются стратегии проведения испытаний.

Амброш, Х.

Требования к современным высоковольтным коммутационным аппаратам — состояние на международном уровне и тенденции развития

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 11, стр. 415–419, 8 рис., 2 табл., 15 лит.

Согласование силовых высоковольтных выключателей с требованиями эксплуатации сети рассматривается на примере перехода от пневматических выключателей к элегазовым выключателям относительно критериев электротехнических параметров, надежности, готовности к работе и поведения в аварийных ситуациях. В рассуждения включаются и генераторные силовые выключатели.

Боханки, Л.

Модели нагрузки общественных распределительных сетей

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 11, стр. 419–423, 2 рис., 2 табл., 6 уравн., 19 лит.

Представляются модели для описания нагрузочной характеристики в течение года, имеющие разную степень резкости изображения относительно случайности нагрузки. Сопоставительная оценка показывает, что упрощенные модели являются не только более удобными в применении, но и достаточно резкими по изображению.

Будиг, П.-К.; Тиммель, Х.; Шуберт, Т.; Югель, У.; Зайфарт, У.

Активные магнитные подшипники — обзор технических основ, построения, принципа действия, проектирования и специальных проблем — Часть 2

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 11, стр. 424–428, 25 рис., 3 табл., 46 уравн., 17 лит.

Современные технологии часто предъявляют высокие требования к опиранию валов. Традиционные подшипники качения и скольжения достигают своих пределов. Активное магнитное опирание представляет собой альтернативу по усовершенствованию. Статья на примере активного магнитного радиального подшипника дает обзор теоретических основ, построения, принципа действия, рабочей характеристики, проектирования, баланса мощности и специальных проблем активных магнитных подшипников.

Bauer, H.

Entscheidungskriterien für die Entwicklung und für den Einsatz von mikrorechnergestützter Prozeßleittechnik für Umspannwerke

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, S. 405–409, 6 Bilder, 2 Tafeln, 6 Gln., 16 Lit.

Die Struktur und die funktionelle Realisierung der mikrorechnergestützten Prozeßleittechnik für Umspannwerke wird wesentlich von den drei Kriterien Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Zeitbilanz bestimmt. Damit können sowohl die Anforderungen an die Leittechnik als auch der Realisierungsaufwand bewertet werden. Auf Lösungsbeispiele in der DDR wird hingewiesen. Weitere Innovationen zur Betriebsführung und zum Schutz werden auf der mikrorechnergestützten Leittechnik und auf der Nutzung von Lichtwellenleiter-Übertragungen aufbauen.

Bauer, H.; Langer, G.

Modelle und Strategien für Prüfungen der elektrischen Verträglichkeit (EMV)

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, S. 409–415, 6 Bilder, 15 Gln., 15 Lit.

Beginnend bei der konzeptionellen Arbeit für die Entwicklung oder für den Einsatz elektronischer Gerätesysteme sind Maßnahmen zur Sicherung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) einzubeziehen. Gestützt auf technische Vorschriften und Berechnungen sind hierzu experimentelle Untersuchungen erforderlich. Abhängig vom Realisierungsstand können Entwicklungsprüfungen, Typprüfungen und Feldtests unterschieden werden. Auf der Grundlage der beschriebenen Modelle werden die Prüfstrategien ausgewählt und bewertet.

Ambrosch, H.

Anforderungen an moderne Hochspannungsschaltgeräte — Internationaler Stand und Entwicklungstendenzen

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, S. 415–419, 8 Bilder, 2 Tafeln, 15 Lit.

Die Anpassung der Hochspannungsleistungsschalter an die Anforderungen des Netzbetriebes werden an den Kriterien elektrotechnischer Parameter, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Verhalten in Havariesituationen am Beispiel des Überganges von Druckluftschaltern zu SF_6-Schaltern diskutiert. Generatorleistungsschalter werden in die Überlegungen einbezogen.

Bochanky, L.

Belastungsmodelle für öffentliche Verteilungsnetze

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, S. 419–423, 2 Bilder, 2 Tafeln, 6 Gln., 18 Lit.

Es werden Modelle zur Beschreibung des Belastungsverlaufs innerhalb eines Jahres vorgestellt, die hinsichtlich des Zufallsverhaltens der Belastung unterschiedliche Abbildschärfe haben. Eine vergleichende Bewertung zeigt, daß vereinfachte Modelle nicht nur anwendungsfreundlicher sondern, auch genügend abbildscharf sind.

Budig, P.-K.; Timmel, H.; Schubert, Th.; Jugel, U.; Seyfarth, U.

Aktive magnetische Lager — eine Übersicht über theoretische Grundlagen, Aufbau, Wirkungsweise, Entwurf und spezielle Probleme. Teil 2

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, S. 424–428, 25 Bilder, 3 Tafeln, 46 Gln., 17 Lit.

Moderne Technologien stellen oft hohe Anforderungen an die Lagerung von Wellen. Konventionelle Wälz- und Gleitlager erreichen ihre Grenzen. Aktive magnetische Lagerungen bieten eine Entwicklungsalternative. Der Aufsatz gibt einen Überblick über die theoretischen Grundlagen, über Aufbau, Wirkungsweise, Betriebsverhalten, Entwurf, Leistungsbilanz und spezielle Probleme aktiver Magnetlager am Beispiel eines aktiven magnetischen Radiallagers.

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik Oranienburger Str. 13/14, Berlin, DDR, 1020 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, Bereich Borsdorf Borsdorf, 7122
Gestalter	*Eckardt Natorp* (Telefon 2870287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, Berlin, 1020 PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR, 1157
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11 a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 12000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Ha Noi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Leipzig, DDR, 7010, Postfach 160 und Leipzig Bkoo Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR, 7010

Lieferbar in stark bearbeiteten Auflagen

VEM-Handbuch Hochstromtechnik

Grundlagen, Dimensionierung und Ausführung von Hochstromanlagen

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Doz. Dr. sc. techn. Gert Winkler. Herausgegeben vom Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. 2., stark bearbeitete Auflage. 516 Seiten, 335 Bilder, 144 Tafeln, Kunstleder, DDR 43,— M, Ausland 60,— DM. Bestellangaben: 553 720 7/VEM-Hochstromtechnik

Hochstromanlagen sind charakteristisch durch Stromstärken größer als 3 kA bis gegenwärtig etwa 350 kA. Der Inhalt des Buches umfaßt die theoretischen Grundlagen zur Berechnung der Hochstromfortleitung und Bemessung der Leitungen, die Kennwerte der Hochstrombetriebsmittel sowie die Technik, Prüfung und Instandhaltung von Hochstromanlagen.
In der vorliegenden Auflage sind die in den letzten Jahren auf dem Gebiet der Hochstromtechnik gewonnenen neuesten wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse berücksichtigt: Probleme, die aus der Anwendung der Leistungselektronik und der Automatisierung des Produktionsprozesses auf mikroelektronischer Grundlage resultieren, und solche aus der Einführung neuer Verfahren; u. a. Fragen der Umgebungsbeeinflussungen und der elektromagnetischen Verträglichkeit, Netzrückwirkungen sowie der Inbetriebsetzung und Instandhaltung.

Einführung in die Technologie der Elektrotechnik/Elektronik

Von Prof. Dr. sc. techn. Hans Eigler und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Beyer. 2., stark bearbeitete Auflage. 344 Seiten, 185 Bilder, 45 Tafeln, Leinen, DDR 26,— M, Ausland 38,— DM. Bestellangaben: 553 451 6/Eigler, Technologie

Dieses Lehrbuch besteht aus zwei Teilen. Der erste, umfangreichere Teil führt in die technologischen Prozesse zur Herstellung von Bauelementen, Geräten und Anlagen der Elektrotechnik/Elektronik ein. Sie sind gegliedert in: allgemeine technologische Prozesse auf physikalischer Grundlage; allgemeine technologische Prozesse auf chemischer, elektrochemischer und elektrophysikalischer Grundlage; spezielle technologische Prozesse der Elektrotechnik/Elektronik.
Der zweite Teil behandelt den Fertigungs- und Montageprozeß, seine optimale Gestaltung und Organisation und enthält auch Methoden zur mathematischen Modellierung technologischer Prozesse.
Aufgrund der Fülle des Materials können die Einzelheiten der Verfahren nicht erschöpfend beschrieben werden. Das Buch soll vielmehr technologisches Grundwissen bieten und den Leser anregen, sich mit der Analyse und der Synthese technologischer Prozesse zu befassen, um die Fertigung optimal gestalten und Voraussetzungen für die Automatisierung schaffen zu können. Nicht das Detail steht im Vordergrund, sondern der Überblick über die verschiedenen Verfahren. Der besonders Interessierte wird auf die Spezialliteratur verwiesen, die zu jedem Abschnitt angegeben ist.
Die Auflage wurde völlig überarbeitet und z. T. neu gegliedert. Einige Verfahren konnten durch modernere ersetzt werden, andere erhielten eine neue Wertung. Spezielle Änderungen ergaben sich vor allem dank den Fortschritten der Mikroelektronik und der weitergehenden Tendenz zur Automatisierung.

Im Fachbuchhandel erhältlich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

ISSN 0013–5399
ELEKTRIE · Berlin 42 (1988) 11 · S. 401–440

6730 11 177 C2/ 465
KOMB KERAM WERKE
A612 7001 0136 DE 1

Neuerscheinung

Rechnergestützte Qualitätssicherung

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Hofmann
288 Seiten, 124 Tafeln, Leinen, DDR 30,– M, Ausland 40,– DM.
Bestellangaben: 553 744 2/Hofmann, Qualitätssicher.

Behandelt wird die rechnergestützte Qualitätssicherung CAQ (computer-aided quality assurance), wobei sich die enge Verknüpfung zwischen Information, Qualität und Meßtechnik INQUAMESS (information and quality by messurements) als neue vereinheitlichende Grundkonzeption außerordentlich bewährt hat.
Der Leser gewinnt eine schnelle Übersicht und vertiefendes Wissen zu volkswirtschaftlichen Zielen und materiell-technischen sowie personellen Voraussetzungen der rechnergestützten Qualitätsarbeit, zu praktischen Maßnahmen der rechnergestützten prüfplanerischen, prüfstrategischen, metrologischen, prüftechnischen, konstruktionstechnischen, fertigungstechnischen und ökonomischen Qualitätssicherung bis hin zu ersten Vorstellungen über künftige intelligente wissensbasierte Qualitätssicherungssysteme.
Das Buch wendet sich an ingenieurtechnische Arbeitskräfte, die in Forschung, Entwicklung, Projektierung, Konstruktion, Technologie, Produktion, Absatz und Kundendienst modernen Problemen der rechnergestützten Qualitätssicherung CAQ gegenüberstehen. Außerdem ist es für Studenten an Hoch- und Fachschulen in den Studienrichtungen Maschinenbau, Elektrotechnik/Elektronik, Gerätetechnik, Automatisierungstechnik und Informatik als Lehr- und Arbeitsbuch geeignet. Das Buch entspricht ebenso den Anforderungen der postgradualen Weiterbildung.

Inhaltsübersicht:

Ziele der rechnergestützten Qualitätssicherung Qualität und intensiv erweiterte Reproduktion · Qualitätssicherung und Meßtechnik · Qualitätssicherung und Automatisierung

Schwerpunkte der rechnergestützten Qualitätssicherung Verständigungsstandards · Systemkonzeptionen · Vorinformationen · Prüfstrategien · Prüftechnologien und Prüfpersonen

Rechnergestützte prüfplanerische Qualitätssicherung Qualitätssicherung und Prüfplanung · Algorithmierung von Prüfprozessen · Prüftechnologische Grundregeln · Klassifikation von Prüfmerkmalen und Prüfmitteln · Rechnergestützte Erarbeitung von Prüfplänen

Rechnergestützte prüfstrategische Qualitätssicherung Qualitätssicherung und Meßabweichungen · Meßabweichungen, Meßtoleranz und Abnahmegrenzen · Meßmittelauswahl und Wirtschaftlichkeit · Manuelle und rechnergestützte Meßmittelauswahl · Rechnergestützte betriebsspezifische Meßmittelkatalogisierung

Rechnergestützte metrologische Qualitätssicherung Qualitätssicherung und Maßanschluß · Rechnergestützte strukturierte Lehrenprüfung · Rechnergestützte betriebsspezifische Lehrenverwaltung · Implementierung strukturierter Softwaremodule · Objektspezifische mehrsprachige Programmierung

Rechnergestützte konstruktionstechnische Qualitätssicherung Qualitätssicherung, Konstruktion und Technologie · Entwerfende, anpassende und projektierende Konstruktion · Rechnergestützte projektierende Meßmittelkonstruktion · Rechnergestützter Informationsaustausch · Rechnergestützte Bemessung

Rechnergestützte fertigungstechnische Qualitätssicherung Qualitätssicherung und Statistik · Qualitätssicherung und Grenzqualität · Rechnergrafische Qualitätsanalyse · Rechnergrafische Qualitätssteuerung · Rechnergrafische Qualitätsüberwachung

Rechnergestützte ökonomische Qualitätssicherung Qualitätssicherung und Kosten · Kosten und Vorinformation · Systematische und zufällige Stichprobenprüfungen · Gewinnoptimierung systematischer Stichprobenprüfungen · Gewinnoptimierung zufälliger Stichprobenprüfungen

Intelligente wissensbasierte Qualitätssicherung Qualitätssicherung und Rechnernetze · Qualitätssicherung und Expertensysteme · Qualitätssicherung mit neuen Maßstäben

Anhang · Literaturverzeichnis · Standardverzeichnis · Sachwörterverzeichnis

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN